

Metode uji listrik untuk kabel listrik – Bagian 3: Metode uji untuk pengukuran luahan parsial pada panjang kabel tegangan terekstrasi



Daftar isi

| | |
|--|-----|
| Daftar isi..... | ii |
| Prakata | iii |
| 1 Umum..... | 1 |
| 1.1 Ruang lingkup | 1 |
| 1.2 Tujuan | 1 |
| 2 Uji luahan parsial..... | 1 |
| 2.1 Istilah dan definisi..... | 1 |
| 2.2 Aparat uji | 1 |
| 2.2.1 Perlengkapan | 1 |
| 2.2.2 Sirkuit uji dan instrumen..... | 1 |
| 2.2.3 Generator pulsa ganda | 2 |
| 2.2.4 Impedans terminal (impedans karakteristik) | 2 |
| 2.2.5 Supresor pantulan..... | 2 |
| 2.3 Penentuan sifat karakteristik sirkuit uji | 2 |
| 2.3.1 Superposisi | 2 |
| 2.3.2 Impedans terminal..... | 2 |
| 2.3.3 Supresor pantulan..... | 2 |
| 2.3.4 Muatan kalibrasi | 3 |
| 2.3.5 Kepekaan | 3 |
| 2.4 Prosedur pengukuran..... | 4 |
| 2.4.1 Panjang kabel yang pendek termasuk panjang uji jenis | 4 |
| 2.4.2 Panjang kabel yang panjang yang diuji tanpa impedans terminal | 5 |
| 2.4.3 Panjang kabel yang panjang yang diuji dengan impedans terminal | 6 |
| 2.4.4 Panjang kabel yang panjang yang diuji dengan supresor pantulan..... | 7 |
| 2.5 Tingkat tegangan / batas luahan parsial | 7 |
| 2.6 Penggambaran diagram pulsa ganda | 7 |
| 2.7 Persyaratan impedans terminal | 8 |
| 3 Pedoman penerapan..... | 10 |
| 3.1 Informasi latar belakang..... | 10 |
| 3.1.1 Penjelasan | 10 |
| 3.1.2 Superposisi dan atenuasi..... | 12 |
| 3.2 Prosedur dan parameter | 14 |
| 3.2.1 Penentuan sifat karakteristik sirkuit uji (lihat 2.3) | 14 |
| 3.2.2 Prosedur pengukuran (lihat 2.4)..... | 16 |
| Daftar istilah..... | 31 |
| Bibliografi | 33 |

Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) mengenai “Metode uji listrik untuk kabel listrik, Bagian 3: Metode uji untuk pengukuran luasan parsial pada panjang kabel tegangan terekstrasi”, diadopsi secara dari standar *International Electrotechnical Commission* (IEC) Publikasi 885-3 (1988) dengan judul “*Electrical test methods for electric cables, Part 3 : test methods for partial discharge measurements on lengths extruded power cable*”. Standar ini dirumuskan oleh Panitia Teknik Kabel dan Konduktor Telanjang (PTKK). dan terakhir dibahas dalam Forum Konsensus XIX pada bulan Oktober 2002 untuk mencapai mufakat.

Dalam rangka mempertahankan mutu ketersediaan standar yang tetap mengikuti perkembangan, maka diharapkan masyarakat standardisasi ketenagalistrikan memberikan saran dan usul perbaikan demi kesempurnaan rancangan ini dan tak kalah pentingnya untuk revisi standar ini dikemudian hari. Bila terdapat ketidakjelasan terhadap isi materi standar ini, maka yang dianggap berlaku adalah sebagaimana yang tertera pada teks asli IEC tersebut.



Metode uji listrik untuk kabel listrik

Bagian 3: Metode uji untuk pengukuran luahan parsial pada panjang kabel tegangan terekstrasi

1 Umum

1.1 Ruang lingkup

Standar ini menentukan persyaratan dasar untuk pengukuran luahan parsial pada panjang kabel tenaga terekstrasi.

Acuan berdasarkan IEC 60270 yang menguraikan teknik dan pertimbangan yang dapat diterapkan untuk pengukuran luahan parsial secara umum. Edisi pertama IEC 60270 terbit pada tahun 1968. Semua acuan dalam standar ini berlaku untuk edisi kedua (1981).

1.2 Tujuan

Tujuan pengujian adalah untuk menentukan besaran luahan, atau untuk memeriksa bahwa besaran luahan tidak melampaui nilai yang ditentukan pada tegangan yang ditentukan dengan kepekaan tertentu.

2 Uji luahan parsial

2.1 Istilah dan definisi

Istilah dan definisi yang diberikan pada IEC 60270 tetap berlaku.

2.2 Aparat uji

2.2.1 Perlengkapan

Perlengkapan terdiri dari suplai daya tegangan tinggi dengan kemampuan kilovolt-ampere yang memadai untuk panjang kabel yang diuji, voltmeter untuk tegangan tinggi, sirkit ukur, kalibrator luahan, generator pulsa ganda dan jika diperlukan impedansi terminal atau supresor pantulan. Semua komponen perlengkapan uji harus mempunyai tingkat deran (*noise*) yang rendah untuk mencapai kepekaan yang dipersyaratkan.

Frekuensi suplai uji dianggap frekuensi daya a.b. 49 Hz sampai 61 Hz mendekati bentuk gelombang sinusoidal, rasio nilai puncak / nilai efektif sama dengan $\sqrt{2}$ dengan toleransi sebesar $\pm 7\%$. Subyek utama yang dipertimbangkan dalam standar ini, kalibrasi dan atenuasi pulsa luahan parsial tidak dipengaruhi oleh penggunaan frekuensi yang berbeda dari suplai daya. Namun karakteristik luahan parsial dipengaruhi oleh frekuensi uji; prosedur pengukuran sebaiknya mempertimbangkan kenyataan ini.

2.2.2 Sirkit uji dan instrumen

Sirkit uji mencakup benda uji, kapasitor kopling dan sirkit ukur. Sirkit ukur terdiri dari impedans ukur (impedans masukan dari instrumen ukur dan unit masukan yang dipilih untuk menyelaraskan dengan impedans kabel), kabel hubung dan instrumen ukur. Instrumen ukur

atau detektor mencakup gawai penguat yang cocok, osiloskop dan jika diinginkan, instrumen tambahan untuk menunjukkan adanya luahan parsial dan untuk mengukur muatan nyata.

2.2.3 Generator pulsa ganda

Sifat sirkit uji luahan parsial harus diperiksa dengan sarana generator pulsa ganda yang menghasilkan dua pulsa yang sama (muatan nyata yang sama) yang saling mengikuti satu sama lain dalam interval waktu variabel secara kontinu $0,2 \mu\text{s}$ sampai $100 \mu\text{s}$. Waktu dari pulsa tidak boleh melebihi 20 ns (10% sampai 90% nilai puncak); waktu antara 10% nilai muka gelombang dan ekor gelombang tidak boleh lebih dari 150 ns . Pulsa dapat disinkronisasi dengan frekuensi daya.

2.2.4 Impedans terminal (impedans karakteristik)

Impedans terminal yang sama nilainya dengan impedans karakteristik dari benda uji dapat dihubungkan ke ujung kabel terbuka yang jauh dari detektor. Hal ini akan menekan pantulan pulsa di ujung kabel tersebut.

2.2.5 Supresor pantulan

Untuk menghindari efek superposisi saat pengujian tanpa impedans terminal, dapat digunakan supresor pantulan. Ini adalah suatu sakelar elektronika yang kebanyakan dapat menahan masukan detektor dari pulsa yang dipantulkan dari ujung terbuka kabel. Namun jika sumber luahan parsial berada pada atau dekat dengan ujung terbuka, beberapa superposisi positif tidak dapat dihindari.

2.3 Penentuan sifat karakteristik sirkit uji

Sifat karakteristik sirkit uji sebaiknya ditentukan pada kondisi yang akan digunakan. Biasanya sirkit uji digunakan untuk hubungan ke ujung kabel tunggal yang diperlihatkan pada Gambar 1, 2, 3, 4 dan 5. Sirkit uji serupa juga dapat diterapkan jika kedua ujung konduktor kabel dihubungkan bersama. Pada kondisi ini kedua ujung tabir juga harus dihubungkan bersama.

2.3.1 Superposisi

Jika impedans terminal tidak digunakan, impedans tersebut diperlukan untuk menentukan sifat sirkit uji berkaitan dengan superposisi gelombang berjalan. Suatu generator pulsa ganda dihubungkan sesuai dengan Gambar 6 dan diagram pulsa ganda digambarkan (lihat 2.6 dan Gambar 7, 8 dan 9). Pemeriksaan ini sebaiknya dilakukan sekurang-kurangnya sekali setahun dan juga sesuai permintaan dan jika suatu komponen sirkit yang signifikan telah diperbaiki atau diganti.

2.3.2 Impedans terminal

Jika impedans terminal digunakan (lihat Gambar 4), kesesuaiannya untuk jenis kabel yang diuji sebaiknya didemonstrasikan dengan menggunakan prosedur yang diuraikan dalam 2.7. Pemeriksaan ini sebaiknya dilakukan sekurang-kurangnya sekali setahun dan juga sesuai permintaan dan jika suatu komponen sirkit yang signifikan telah diperbaiki atau diganti.

2.3.3 Supresor pantulan

Tujuan penggunaan gawai ini adalah untuk mendapatkan diagram pulsa ganda jenis 1 seperti pada Gambar 7. Dengan menggunakan susunan yang diperlihatkan pada Gambar

10, efisiensi supresor pantulan ini sebaiknya diperiksa sekali setahun dan juga sesuai permintaan dan jika suatu komponen sirkit yang signifikan telah diperbaiki atau diganti.

2.3.4 Muatan kalibrasi

Metode "alih muatan" kalibrasi harus digunakan sesuai dengan 5.2.1 IEC 60270. Petunjuk selanjutnya untuk penggunaan kalibrator luahan diberikan pada Laporan CIGRE 1968-21-01, Lampiran III. Pada metode ini, kalibrator dihubungkan langsung melalui satu ujung kabel yang akan diuji untuk menginjeksi pulsa arus pendek dengan besaran muatan yang telah ditentukan terlebih dahulu ke dalam benda uji seperti dirinci pada 2.4. Pulsa yang dihasilkan pada osiloskop sebaiknya mempunyai tinggi sekurang-kurangnya 10 mm.

Kecuali kapasitor kalibrasi diperingkat untuk penggunaan tegangan uji yang bersangkutan, maka perlu untuk memutusnya sebelum transformator uji tegangan tinggi dilistriki. Penguatan penguat tidak boleh disetel ulang setelah hal tersebut dilakukan, kecuali disediakan sarana untuk tayangan secara kontinu sinyal kalibrasi yang sesuai selama pengujian.

Sarana tersebut dapat sebagai berikut:

- a) kapasitor kalibrasi dapat dengan peringkat tegangan penuh dan dapat merupakan bagian dari sirkit uji. Dalam hal ini kapasitor tersebut tidak perlu diputus sebelum transformator uji tegangan tinggi dilistriki, atau
- b) kalibrator sekunder yang dapat digunakan sebagai tambahan. Kalibrator ini dihubungkan ke masukan detektor. Dalam hal ini, amplitudo respons pulsa sekunder harus dikalibrasi terlebih dahulu terhadap kalibrator primer sebelum kalibrator primer tersebut diputus dan transformator uji tegangan tinggi dilistriki sesuai Laporan CIGRE 1968-21-01, Lampiran III, Seksi I, Ayat 1.2.

Luahan kalibrasi, q_{cal} (picocoulomb), adalah sama dengan hasil kali amplitudo pulsa kalibrasi ΔU (volt) dan kapasitans kalibrasi C_{cal} (picofarad) dari kalibrator selama kapasitans tersebut kecil dibanding dengan kapasitans benda uji, C_x

$$q_{cal} = C_{cal} \cdot \Delta U$$

Karakteristik pulsa kalibrasi harus memenuhi 5.2 dan 5.3 IEC 60270 dan Laporan CIGRE 1968-21-01, Lampiran III, Seksi III. Untuk panjang kabel yang panjang ada persyaratan tambahan bahwa kapasitans kalibrasi tidak boleh lebih besar dari 150 pF.

Faktor skala dari instrumen ukur k adalah faktor yang pembacaan instrumen harus dikalikan guna memperoleh besaran besarnya luahan yang diinjeksikan ke dalam benda uji selama kalibrasi. Konsistensinya harus memenuhi 5.2 dari IEC 60270.

2.3.5 Kepekaan

- a) Kepekaan sirkit uji (dengan suplai tegangan tinggi dan instrumen) ditentukan sebagai pulsa luahan terdeteksi minimum, q_{min} (picocoulomb) yang dapat diamati dengan adanya deran latar belakang. Secara individu, pulsa interferens yang dapat diidentifikasi dengan jelas dapat diabaikan. Tayangan osiloskop diperlukan untuk memantau tingkat sinyal deran karena picocoulomb-meter tidak mengidentifikasi sumber sinyal yang terindikasi. Agar dapat dideteksi, pulsa luahan harus sekurang-kurangnya dua kali tinggi deran nyata, h_n (h_n adalah pembacaan deran pada osiloskop atau picocoulomb-meter jika digunakan sebagai tambahan).

Karena itu :

$$q_{\min} = 2 k \cdot h_n$$

dengan k adalah faktor skala.

- b) Nilai kepekaan harus dipilih sesuai 2.5

2.4 Prosedur pengukuran

Pengujian harus dilakukan seperti uji jenis pada sampel kabel yang pendek dan seperti uji rutin pada panjang produksi kabel.

Pemilihan sirkit uji tergantung pada apakah sampel kabel dapat dianggap pendek (2.4.1) atau panjang (2.4.2, 2.4.3 dan 2.4.4) tergantung pada diagram pulsa ganda (2.6). Sirkit uji harus bebas luahan untuk mencapai kepekaan yang disyaratkan (lihat 2.3.5). Kalibrasi tidak perlu harus dilakukan dengan suplai tegangan tinggi (lihat 2.3.4)

2.4.1 Panjang kabel yang pendek termasuk panjang uji jenis

- a) Persyaratan

Untuk panjang kabel yang pendek, kabel dapat dianggap serupa kumpulan kapasitans. Pembatasan panjang jika tidak dapat diterima, tergantung pada sirkit uji yang digunakan. Nilai aktual akan ditentukan dengan menggunakan diagram pulsa ganda yang diuraikan dalam 2.6 dan disebut sebagai l_k .

CATATAN Namun panjang sampai dengan $2 l_k$ berlaku sebagai pendek bila kedua ujung kabel dihubungkan bersama (lihat 2.3).

Biasanya sirkit uji yang digunakan seperti pada Gambar 1, 2 dan 3.

- b) Verifikasi kepekaan

Kalibrator harus dihubungkan paralel dengan kabel dan hanya pada ujung jauh dari detektor. Muatan kalibrasi q_{cal} diinjeksikan, dan masing-masing nilai defleksi terukur a_2 digunakan untuk menghitung faktor skala $k_2 = q_{\text{cal}}/a_2$ (pC/mm) dan kepekaan q_{\min} (pC).

$$q_{\min} = 2 k_2 \cdot h_n$$

dengan:

h_n adalah defleksi (mm) dari interferens latar belakang (*background interference*).

- c) Prosedur uji

Pengukuran harus dilakukan hanya pada satu ujung kabel. Untuk defleksi terukur A (mm), besaran luahan q (pC) adalah

$$q = k_2 \cdot A$$

Tingkat tegangan yang digunakan harus dipilih sesuai 2.5.

2.4.2 Panjang kabel yang panjang yang diuji tanpa impedans terminal

a) Persyaratan

Untuk panjang kabel lebih dari l_k masih dimungkinkan untuk menguji tanpa impedans terminal asalkan memperhitungkan superposisi dan fenomena atenuasi. Pengujian tanpa impedans terminal diizinkan jika diagram pulsa ganda (2.6) adalah:

- Jenis 1 (Gambar 7) atau
- Jenis 2 dan Jenis 3 (Gambar 8 dan 9) , tetapi bila panjang kabel l berada di luar batas $2l_1 \leq l \leq 2l_2$ (lihat 2.6 untuk penentuan l_1 dan l_2).

Untuk panjang di dalam batas ini suatu sirkit uji alternatif sebaiknya digunakan atau prosedur yang diuraikan pada 2.4.3 atau 2.4.4 sebaiknya diadopsi.

Sirkit uji yang biasanya digunakan ditunjukkan pada Gambar 1, 2, 3 dan 5.

b) Verifikasi kepekaan

Sebagaimana ditunjukan pada Gambar 1, 2, 3 atau 5, kalibrator harus dihubungkan ke masing-masing ujung secara bergantian, paralel dengan kabel, pertama kali ke ujung jauh dari detektor dan kemudian - dengan setelan yang sama dari penguat dan muatan kalibrasi - ke ujung dekat detektor. Nilai berikut harus dicatat:

- a_1 (mm) defleksi tersebut diukur dengan kalibrator pada ujung dekat detector;
- a_2 (mm) defleksi tersebut diukur dengan kalibrator pada ujung jauh detektor.

a_1 dan muatan kalibrasi q_{cal} (pC) digunakan untuk menentukan faktor skala k_1 (pC/mm):

$$k_1 = q_{cal}/a_1$$

a_1 dan a_2 digunakan untuk menentukan faktor koreksi F untuk memperhitungkan atenuasi. Faktor tersebut diberikan dengan:

$$F = 1 \quad \text{jika } a_2 \geq a_1$$

$$F = \sqrt{\frac{a_1}{a_2}} \quad \text{jika } a_2 < a_1$$

Kepekaan q_{min} (pC) dihitung dengan:

$$q_{min} = 2 k_1 \cdot h_n \cdot F$$

c) Prosedur uji

Pengukuran harus dilakukan dua kali dengan menghubungkan ujung tegangan tinggi dari kapasitor kopling ke masing-masing ujung kabel secara bergantian. Defleksi terukur A_1 dan A_2 harus ditentukan dan dipilih nilai tertinggi A_{maks} (mm). Dengan faktor skala k_1 (pC/mm) dan faktor koreksi F , besaran luahan q (pC) adalah:

$$q = k_1 \cdot A_{maks} \cdot F$$

Tingkat tegangan yang digunakan saat mengukur defleksi tertinggi A_{maks} harus dipilih sesuai 2.5.

CATATAN Hanya jika diagram pulsa ganda dari jenis 1 (lihat Gambar 7) dan $a_2 \geq a_1$, pengukuran A (mm) adalah cukup jika kedua ujung kabel dihubungkan bersama (lihat 2.3). Besaran luahan kemudian adalah:

$$q = k_1 \cdot A$$

2.4.3 Panjang kabel yang panjang yang diuji dengan impedans terminal

a) Persyaratan

Untuk menghilangkan eror superposisi, kabel yang lebih panjang dari l_k dapat diuji dengan impedans terminal seperti pada Gambar 4. Metode ini dapat digunakan dengan semua detektor dan semua panjang kabel asalkan impedans Z_w memenuhi persyaratan yang ditentukan pada 2.7. Kesesuaian impedans untuk kabel yang diuji harus didemonstrasikan dengan menggunakan prosedur yang diuraikan pada 2.7.

b) Verifikasi kepekaan

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4, kalibrator sebaiknya dihubungkan ke masing-masing ujung paralel dengan kabel, pertama kali ke ujung jauh dari detektor dan kemudian - dengan setelan penguat dan muatan kalibrasi yang sama - ke ujung dekat detektor.

Nilai berikut harus dicatat:

- a_1 (mm) defleksi tersebut diukur dengan kalibrator pada ujung dekat detektor. Hal ini tidak perlu diukur jika prosedur butir c ii) berikut dianggap cukup;
- a_2 (mm) defleksi tersebut diukur dengan kalibrator pada ujung jauh dari detektor.

Faktor skala k_2 (pC/mm) ditentukan, dan kepekaan q_{\min} (pC) dihitung:

$$k_2 = q_{\text{cal}}/a_2$$

$$q_{\min} = 2 k_2 \cdot h_n$$

c) Prosedur uji

- i) Jika disyaratkan untuk menentukan nilai besaran luahan parsial seteliti mungkin, ujung tegangan tinggi dari kapasitor kopling harus dihubungkan ke masing-masing ujung kabel secara bergantian dan kedua defleksi terukur A_1 dan A_2 (mm) ditentukan.

Besaran luahan q (pC) diberikan oleh:

$$q = q_{\text{cal}} \sqrt{\frac{A_1 \cdot A_2}{a_1 \cdot a_2}}$$

- ii) Jika dianggap cukup untuk memeriksa bahwa besaran luahan tidak melebihi nilai yang ditentukan, pengukuran dapat dilakukan dengan ujung tegangan tinggi kapasitor kopling dihubungkan hanya ke satu ujung kabel. Dalam hal ini pulsa kalibrasi hanya diinjeksikan pada ujung kabel yang dihubungkan ke impedans

terminal yang jauh dari detektor (a_2). Dengan defleksi terukur A_1 (mm) dan faktor skala k_2 (pC/mm), besaran luahan q (pC) diberikan oleh:

$$q = k_2 \cdot A_1$$

Tingkat tegangan yang digunakan saat mengukur defleksi A_1 dan, jika diperlukan A_2 , harus dipilih sesuai 2.5

2.4.4 Panjang kabel yang panjang yang diuji dengan supresor pantulan.

Hubungan supresor pantulan ditunjukkan pada Gambar 5.

- a) Persyaratan
Jika menggunakan supresor pantulan, diagram pulsa ganda harus jenis 1 (lihat Gambar 7)
- b) dan c) Verifikasi kepekaan dan prosedur uji

Sama seperti yang ditunjukkan untuk pengujian kabel yang panjang tanpa impedans terminal (lihat 2.4.2).

2.5 Tingkat tegangan / batas luahan parsial

Tegangan, kepekaan dan batas luahan parsial harus ditentukan sesuai persyaratan dalam standar jenis kabel.

2.6 Penggambaran diagram pulsa ganda

Generator pulsa ganda sebaiknya dihubungkan ke komponen sirkit ukur seperti pada Gambar 6.

Gambar pulsa ganda dipengaruhi oleh variasi pada masing-masing komponen sirkit. Gambar pulsa ganda yang diperoleh adalah penting untuk kondisi yang teliti yang digunakan pada uji tegangan tinggi. Kabel tenaga diganti dengan beban resistif yang mempunyai impedans karakteristik maksimum untuk kabel terekstrasi ($R = 50 \Omega$ sampai 60Ω). Pulsa ganda diinjeksikan dalam posisi yang sama seperti pada pulsa kalibrasi untuk berbagai sirkit uji seperti pada Gambar 1, 2 dan 3. Kondisi berikut sebaiknya berlaku:

- a) Generator pulsa ganda I harus memenuhi persyaratan 2.2.3. Spasi pulsa sebaiknya ditentukan dengan menggunakan osiloskop eksternal dengan dasar waktu yang dikalibrasi. Ketelitian disyaratkan: $\pm 3\%$ atau 50 ns, dipilih yang lebih besar. Impedans keluaran total sebaiknya dalam julat 50Ω sampai 60Ω . Untuk mencapainya mungkin diperlukan penambahan resistor eksternal secara paralel atau seri dengan keluaran.

Pengalaman telah menunjukkan bahwa gambar pulsa ganda dapat benar-benar diperoleh dengan cara berikut:

- Metode paling sederhana adalah menghubungkan generator pulsa ganda melalui kapasitor tegangan tinggi C_K dan impedans ukur Z_A dengan kawat yang panjangnya tidak lebih dari 3 meter.
- Untuk hubungan yang lebih panjang sebaiknya digunakan kabel koaksial (lihat Gambar 6). Dalam hal ini dua resistor adaptor R_1 dan R_2 diperlukan untuk memastikan bahwa sistem yang diselaraskan memberikan impedans dengan julat 50Ω sampai 60Ω seperti resistans beban.

- b) Kapasitor C_K dan komponen tegangan tinggi lainnya dari sirkit uji sebaiknya sama dan mempunyai hubungan yang sama seperti yang digunakan pada uji tegangan tinggi.
- c) Unit penyalaras (*matching unit*) atau impedans detektor Z_A yang digunakan pada uji tegangan tinggi sebaiknya digunakan untuk mendapatkan gambar pulsa ganda.
- d) Penguat detektor D sebaiknya digunakan dengan setelan penguatan dan respons frekuensi penguat dipilih untuk uji tegangan tinggi. Untuk pengukuran yang akurat dari perubahan pada besaran pulsa yang disebabkan distorsi superposisi, keluaran penguat detektor D sebaiknya ditayangkan pada suatu osiloskop eksternal (misalnya osiloskop yang digunakan pada butir a)).

Interval waktu generator pulsa ganda disetel pada $100\ \mu\text{s}$ dan defleksi dari detektor luasan parsial pada kedua pulsa A_{100} diukur. Kemudian interval waktu diturunkan dari $100\ \mu\text{s}$ ke $0,2\ \mu\text{s}$; untuk nilai yang berbeda dari interval t yang diukur antara puncak maksimum dua pulsa, defleksi maksimum A_t diukur. Perhatian khusus sebaiknya diberikan pada daerah superposisi positif dan negatif. Nilai A_t/A_{100} kemudian digambar sebagai fungsi t untuk mendapatkan diagram pulsa ganda. Contoh diagram pada Gambar 7 sampai Gambar 9.

Nilai t_k dengan $A_t/A_{100} = 1,4$ pada superposisi positif awal ditentukan dari gambar. Waktu t_1 dan t_2 dengan $A_t/A_{100} \leq 1,0$ pada semua daerah superposisi negatif sebaiknya ditentukan. Dengan memperhitungkan eror pengukuran, daerah superposisi negatif dengan besaran maksimum sampai dengan -10% dapat diabaikan.

Panjang kabel l_k , l_1 dan l_2 yang berkaitan dengan t_k , t_1 dan t_2 dihitung dengan menggunakan rumus: $l = 0,5 \cdot t \cdot v$. Kecepatan rambat rata-rata adalah v dan nilai tipikal untuk kebanyakan kabel terekstrasi berada antara $150\ \text{m}/\mu\text{s}$ dan $170\ \text{m}/\mu\text{s}$. Sesuai permintaan, laju rambat harus diukur dengan menginjeksi pulsa kalibrasi ke dalam kabel yang tidak mempunyai impedans terminal dan mengukur penundaan waktu antara pulsa yang timbul dan pulsa pantul.

Panjang kabel $l < l_k$ dapat dianggap pendek. Panjang tersebut dapat sependek $100\ \text{m}$ dan bahkan lebih panjang dari $1000\ \text{meter}$.

Panjang antara $2\ l_1$ dan $2\ l_2$ dianggap panjang yang dilarang. Panjang ini harus diuji dengan impedans terminal (lihat 2.4.3) atau pada kondisi termodifikasi dari sirkit uji (sebagai contoh D, Z_A , C_K) untuk merubah nilai l_1 dan l_2 ke nilai yang lebih sesuai. Sebagai alternatif dimungkinkan untuk secara efektif menggandakan nilai l_k dengan menghubungkan kedua ujung kabel bersama-sama.

2.7 Persyaratan impedans terminal

Impedans terminal Z_w pada Gambar 4 terdiri dari elemen RC atau RLC yang dipilih berdasarkan evaluasi eksperimen.

Elemen RC

Pengukuran berikut harus digunakan untuk membuktikan kesesuaian kapasitor terminal C_w .

Elemen RC harus dihubungkan paralel dengan kabel melalui ujung jauh dari detektor. Komponen kapasitif harus dihubungkan pendek dan komponen resistif harus disetel untuk sesuai dengan impedans karakteristik kabel. Selanjutnya kalibrator juga harus dihubungkan ke ujung jauh detektor dan defleksi terukur a_2 harus ditentukan.

Dengan setelan penguat yang sama, hubung pendek dari komponen kapasitif impedans terminal harus dilepas.

Peluhan hubung pendek kapasitor (C_w) tidak boleh merubah defleksi a_2 lebih dari $\pm 15\%$.

Untuk detektor luahan parsial yang mempunyai frekuensi terpenggal lebih rendah dari 2 MHz, perkiraan yang wajar dari kapasitor C_w (kapasitor kopling tegangan tinggi Z_w) dapat diperoleh dengan menggunakan rumus berikut:

$$C_w \geq 0,5 \frac{1}{R_w \cdot f_m}$$

dengan:

R_w adalah komponen resistif impedans terminal (sesuai mendekati impedans karakteristik kabel)

f_m adalah frekuensi ukur rata-rata dari detektor (nilai rata-rata aritmatika dari frekuensi batas atas dan batas bawah dari detektor)

Untuk instrumen ukur luahan parsial yang mempunyai penguat pita lebar dengan frekuensi terpenggal atas lebih dari 2 MHz yang dihubungkan dengan unit integrator elektronika, C_w dapat diperkirakan berdasarkan hubungan

$$C_w \geq \frac{3T_j}{R_w}$$

T_j adalah durasi waktu dari pulsa luahan parsial asli (umumnya lebih kecil dari $0,2 \mu s$)

Sirkuit resonans seri elemen RLC

Pengukuran berikut harus digunakan untuk membuktikan kesesuaian sirkuit resonans pada masing-masing frekuensi ukur.

Dengan impedans terminal dilepas, suatu resistor resistif yang sesuai dengan impedans karakteristik kabel harus dihubungkan ke ujung jauh dari detektor, paralel dengan kabel. Selanjutnya kalibrator harus dihubungkan ke ujung jauh dari detektor dan defleksi terukur a_2 harus ditentukan.

Kemudian resistor resistif harus dilepas - dengan setelan penguat tetap konstan - dan diganti dengan impedans terminal yang terdiri dari RLC.

Pada frekuensi ukur, komponen resistif dari impedans terminal harus sesuai dengan resistans R_w .

Defleksi terukur a_2 tidak boleh berubah lebih dari $\pm 15\%$ saat impedans terminal dihubungkan.

Perkiraan yang wajar dari nilai kapasitans C_w dan induktans L_w dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$C_w \geq \frac{\Delta f}{2\pi \cdot f_m^2 \cdot R_w}$$

$$L_w = \frac{1}{(2\pi \cdot f_m)^2 \cdot C_w}$$

dengan:

R_w adalah komponen resistif dari impedans terminal (sesuai mendekati impedans karakteristik kabel)

f_m adalah frekuensi ukur rata-rata dari detektor (nilai rata-rata aritmatika frekuensi batas atas dan batas bawah dari detektor)

Δf adalah lebar pita detektor (frekuensi batas atas dikurangi frekuensi batas bawah dari detektor)

3 Pedoman penerapan

Prosedur yang diadopsi selama uji luahan parsial pada panjang kabel tenaga terekstrasi diuraikan pada Pasal 2. Pedoman ini telah disiapkan untuk menjelaskan atau membenarkan beberapa prosedur.

3.1 Informasi latar belakang

3.1.1 Penjelasan

Pengukuran luahan parsial digunakan sebagai salah satu uji kendali mutu untuk kabel terekstrasi dalam julat tegangan menengah dan tinggi. Situasi normal adalah bahwa luahan parsial tidak akan terjadi pada kabel tersebut disaat dilistriki untuk menekankan yang biasa dipersyaratkan dalam spesifikasi. Namun kadang-kadang terjadi cacat terisolasi yang menghasilkan luahan parsial. Tujuan pengujian adalah untuk mengidentifikasi situasi khusus ini. Suatu persyaratan penting adalah bahwa prosedur mengizinkan pengukuran yang akurat luahan parsial dari tempat tunggal tanpa menghiraukan posisinya pada panjang kabel.

Teknik pengukuran yang peka digunakan untuk mendeteksi luahan parsial yang terjadi dalam bentuk pulsa pada kuat medan spesifik dalam rongga kosong di dalam insulasi atau dalam daerah yang cacat dari lapisan semi konduktor. Prosedur yang dapat digunakan diuraikan dalam dokumen umum IEC 60270. Disini, beberapa kesulitan, seperti keterbatasan kepekaan yang disebabkan oleh interferens listrik, dan metode untuk mengatasinya didiskusikan. Namun ada masalah lain yang spesifik pada kabel yang panjang yang berada di luar ruang lingkup IEC 60270. Untuk masalah tersebut standar ini ditujukan.

Transien listrik pada tempat luahan di dalam panjang kabel yang panjang menyebabkan terjadinya gelombang berjalan yang merambat ke kedua ujung kabel. Suatu detektor luahan parsial yang ditempatkan pada salah satu ujung kabel akan menanggapi gelombang yang datang secara langsung dan gelombang yang datang setelah pantulan pada ujung lain kabel. Kedatangan deretan dua gelombang dapat mengarah pada superposisi dan respons yang dihasilkan dapat lebih besar atau lebih kecil dari gelombang awal. Jika respons lebih besar dari gelombang awal, eror superposisi positif ini akan mengarah pada perkiraan berlebihan dari besaran luahan. Hal tersebut tidak akan membatasi keefektifan pengujian. Namun perkiraan yang terlalu rendah akan terjadi jika respons lebih kecil dari gelombang awal. Eror negatif tersebut akan mengarah pada kesalahan yang tidak terdeteksi. Strategi

standar ini adalah mengizinkan eror positif dan menjaga eror negatif dalam batas yang dapat diterima.

Respons dan eror terkait ditentukan oleh panjang kabel dan karakteristik sirkit uji. Prosedur yang disyaratkan untuk memperhitungkan eror ini dan hal karena atenuasi tidak dipertimbangkan dalam IEC 60270. Fenomena tersebut dipertimbangkan oleh CIGRE beberapa tahun lalu (laporan CIGRE 1968-21.01, Lampiran IV) , dan sebelum itu standar IEC untuk pengujian kabel terekstrasi telah merekomendasikan penggunaan Laporan tersebut bersama-sama dengan IEC 60270. Namun pengalaman pabrikan sesudah itu telah menunjukkan tiga hasil penting:

- a) Beberapa teknik yang direkomendasikan oleh CIGRE terlalu rumit dan menghabiskan waktu dan karena itu terlalu mahal, terutama untuk kabel tegangan lebih tinggi. Akibatnya adalah menarik untuk menguji dengan terjadinya atenuasi dan superposisi, tetapi untuk melakukan hal tersebut dengan cara sedemikian sehingga eror maksimum ditentukan dan masih di dalam batas yang dapat diterima seperti ditentukan pada Pasal Dua.
- b) Kondisi yang menghasilkan eror superposisi negatif dan positif tergantung pada sirkit uji yang lengkap. Untuk membuat detektor luahan parsial khusus seperti yang mempunyai respons α atau respons β^* dengan strategi pengukuran yang diakibatkannya telah mengarah pada hasil yang tidak diharapkan dan tidak dapat diperbandingkan. Karena itu hal tersebut bukanlah metode yang terbaik. Standar ini merekomendasikan metode berdasarkan penentuan sifat karakteristik sirkit uji yang lengkap dengan menggambarkan apa yang disebut "diagram pulsa ganda". Berdasarkan diagram pulsa ganda tersebut maka akan dipilih metode uji yang paling ekonomis.
- c) Adalah implikasi dalam Laporan CIGRE bahwa α atau kondisi superposisi positif selalu lebih disukai. Pengalaman telah menunjukkan sirkit uji yang paling ekonomis adalah jika kabel dapat dianggap cukup pendek sehingga dapat diuji sebagai kumpulan kapasitans. Situasi tersebut dapat timbul jika panjang yang biasanya diuji dapat dianggap pendek dengan respons β tetapi tidak dengan sirkit respons α . Dengan mengevaluasi diagram pulsa ganda yang relevan dapat dinyatakan bahwa respons β kemudian akan lebih disukai.

Karena itu standar ini saling melengkapi dengan IEC 60270 dan berkaitan khususnya dengan masalah uji luahan kabel tenaga. Tema pentingnya adalah penentuan metode uji yang paling ekonomis untuk kabel dengan panjang khusus dengan dasar diagram pulsa ganda. Prosedur kalibrasi ini memungkinkan eror yang akan ditentukan sebagai fungsi panjang kabel dan untuk menentukan metode untuk menjaga eror berada di dalam batas yang dapat diterima.

Pertimbangan pertama adalah menetapkan panjang yang bagaimana dapat dipertimbangkan, pendek atau panjang untuk sirkit uji khusus karena untuk menguji panjang kabel yang pendek adalah metode uji yang paling ekonomis. Panjang kabel yang pendek dapat sependek 100 meter dan dapat sepanjang 1000 meter tergantung pada sirkit uji. Untuk panjang kabel yang panjang salah satu kemungkinan adalah mengakhiri ujung jauh kabel dengan impedans karakteristik. Hal ini akan mencegah pantulan pulsa dan menghilangkan sumber eror. Kemungkinan lain yang dipertimbangkan adalah mengizinkan kedua pulsa dideteksi dan menekan secara elektronika pulsa pantul.

* Kebanyakan detektor menghasilkan gelombang osilasi yang terlalu teredam. Dengan respons α , puncak pertama mempunyai defleksi terbesar; dengan respons β , puncak kedua atau berikutnya adalah yang terbesar.

Metode pencegahan dan penekanan mensyaratkan pemeriksaan khusus untuk mendemonstrasikan keefektifannya. Akhirnya metode yang paling ekonomis untuk panjang kabel yang panjang adalah menguji tanpa mencegah pantulan atau menekan pulsa pantul. Namun untuk beberapa sirkit uji, eror tersebut terlalu besar dan metode ini tidak dapat diterima untuk pengujian pada kabel dengan panjang yang khusus. Dalam hal ini akan diperlukan untuk menguji dengan impedans karakteristik atau dengan supresor atau diganti dengan sirkit uji alternatif yang mempunyai diagram pulsa ganda yang berbeda dan yang lebih sesuai.

3.1.2 Superposisi dan atenuasi

Alih muatan didalam luahan parsial di suatu tempat di sepanjang kabel yang panjang menyebabkan terjadinya dua gelombang berjalan yang merambat menuju ke kedua ujung kabel. Gelombang tersebut dibangkitkan selama alih muatan dan akibatnya merupakan transien dengan durasi pendek. Muatan berada di dalam masing-masing yang berkaitan dengan setengah besaran luahan dan merambat ke ujung kabel dengan kecepatan v yang besarnya kira-kira $c/\sqrt{\epsilon}$ (c adalah kecepatan cahaya dan ϵ permitivitas dielektrik relatif). Unit masukan detektor Z_A pada Gambar 1 sampai Gambar 3 dipilih untuk menyelaraskan dengan impedans karakteristik kabel.

Akibatnya pulsa yang dipantulkan pada ujung detektor kabel diabaikan. Fenomena pantulan berkaitan dengan pantulan tunggal pada ujung kabel yang jauh dari detektor. Untuk tempat luahan yang tepat pada ujung kabel yang jauh, hanya akan ada satu pulsa yang akan mengisi seluruh muatan (lihat Gambar 11). Dalam kasus khusus ini pengaruh fenomena pantulan dan superposisi tidak mempunyai relevansi.

Situasi konvensional dari tempat di sepanjang kabel dan detektor di satu ujung sebelum dan setelah pantulan dalam a) dan b) diperlihatkan pada Gambar 12. Pada ujung kabel terbuka yang jauh dari detektor, gelombang dipantulkan pada saat datang; kemudian berjalan dengan arah yang sama seperti gelombang yang tidak dipantulkan dengan penundaan waktu t . Bila jarak sumber luahan parsial dari ujung kabel yang jauh dari detektor lebih jauh, penundaan waktu t akan lebih lama.

Sirkit ukur menanggapi masing-masing gelombang dengan menghasilkan pulsa tegangan. Untuk pulsa luahan, respons sirkit ukur adalah berbanding lurus dengan tegangan puncak atau dengan muatan, dan faktor perbandingan tergantung pada julat frekuensi dan parameter lain sirkit. Jika suatu pulsa datang pada sirkit ukur di saat gawai ukur sedang menanggapi pulsa sebelumnya, pulsa tegangan yang dihasilkan adalah perjumlahan dari dua respons superposisi yang disebabkan dua pulsa individu dengan penundaan waktu t . Karena superposisi ini, hasil ukur secara terkait termodifikasi dan eror yang dihasilkan berbanding lurus dengan pulsa luahan parsial. Hal ini adalah eror superposisi yang dapat menyebabkan kenaikan atau penurunan efek positif atau negatif seperti diperlihatkan pada Gambar 13 dan 14, yang tergantung pada penundaan waktu t (yaitu tempat luahan parsial di sepanjang kabel) dan karakteristik sirkit ukur.

Akibatnya pengukuran kabel dapat dievaluasi secara benar hanya dengan pengetahuan yang pasti tentang pengaruh fenomena pantulan dan superposisi.

Efek eror superposisi dapat ditunjukkan dengan menginjeksikan pulsa kalibrasi ke dalam kabel pada bermacam posisi di sepanjang kabel untuk menghasilkan respons seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13 dan 14 atau dengan simulasi urutan dua pulsa yang berjalan dalam arah yang sama dengan penundaan waktu konstan t . Kemungkinan simulasi tersebut dapat dengan mudah direalisasikan dengan menginjeksikan dua pulsa berturut-turut berbentuk serupa dengan pulsa luahan parsial ke dalam sirkit ukur. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 6. Dengan mengubah-ubah penundaan waktu t antara pulsa tersebut,

dipertimbangkan semua tempat yang mungkin merupakan sumber luahan parsial pada panjang kabel. Penggambaran besaran tegangan dari detektor versus penundaan waktu t antara pulsa ganda mengarah pada diagram pulsa ganda (lihat contoh dalam Gambar 7, 8 dan 9). Hal ini menggambarkan sifat karakteristik sirkit uji dan dasar untuk memilih metode uji yang tepat untuk masing-masing panjang kabel.

Efek utama lain yang mempengaruhi hasil ukur adalah atenuasi. Hal ini tergantung pada panjang kabel, konstruksi dan respons frekuensi dari sirkit ukur.

Hal ini dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan:

$$a(x) = a_1 \exp(-\gamma x)$$

dengan:

a adalah nilai yang diukur pada x

a_1 adalah nilai yang diukur pada $x = 0$ (lihat Gambar 13)

x adalah tempat sumber luahan parsial (lihat Gambar 13)

γ adalah konstanta, tergantung pada konstruksi kabel dan frekuensi detektor.

Pengaruh atenuasi sendiri ditunjukkan sebagai garis penuh pada Gambar 13, dan dengan efek pantulan dan superposisi tambahan dalam kurva putus-putus. Dengan kalibrasi dari kedua ujung kabel dan dengan menggunakan persamaan di atas, eror atenuasi dapat dihitung dan dilakukan koreksinya. Dalam 2.4.2 hal ini dicapai dengan menggunakan faktor koreksi F yang dihitung dari dua kalibrasi dan, dengan memasukkannya ke dalam persamaan atenuasi, penggunaannya akan memastikan bahwa eror atenuasi tidak lebih dari 30%. Dalam Gambar 14a dan 14b dua contoh tipikal dengan efek atenuasi dan superposisi ditunjukkan. Efek superposisi tersebut terjadi pada 600 meter terakhir atau 640 meter: yang mempunyai kabel yang lebih pendek dari ini, semua tempat akan menunjukkan superposisi. Untuk panjang kabel yang lebih panjang seperti untuk 2000 meter, eror superposisi akan dibatasi pada tempat luahan parsial di ujung 640 meter, seperti contoh dalam Gambar 14a, dan 600 meter, seperti contoh dalam Gambar 14b. Untuk kedua contoh, atau secara umum, panjang kabel yang pendek ditentukan oleh $l \leq l_k$, di mana eror lebih kecil dari minus 30% jika hanya mengkalibrasi pada ujung jauh dari detektor. Panjang yang ditentukan sebagai l_k jika eror mencapai 30% adalah 440 meter, seperti contoh dalam Gambar 14a dan 190 meter, seperti contoh dalam Gambar 14b. Untuk panjang kabel yang pendek $l \leq l_k$, metode uji sederhana diberikan pada 2.4.1.

Untuk panjang kabel yang lebih panjang $l > l_k$ dua hal harus secara tegas dipisahkan:

- a) Hanya superposisi yang positif (lihat Gambar 14a)

Pengukuran yang benar dimungkinkan untuk semua kabel tidak tergantung dari panjang kabel, dengan pengujian dari masing-masing ujung secara bergantian (A_1 dan A_2) dan memilih nilai lebih tinggi A_{maks} untuk evaluasi (lihat 2.4.2 c)). Eror negatif ($A_x/A_0 < 1$) disebabkan oleh atenuasi. Tidak boleh ada kasus eror negatif tersebut naik oleh superposisi. Dalam beberapa kasus jika atenuasi terlalu tinggi, koreksi mungkin diperlukan (lihat 2.4.2 b) dan 3.2.2.2).

- b) Superposisi positif dan negatif (lihat Gambar 14b)

Untuk superposisi negatif yang diperlihatkan seperti contoh dalam Gambar 14b antara $l_1 = 220$ meter dan $l_2 = 600$ meter, koreksi TIDAK mungkin. Dengan menggunakan metode tersebut di atas, semua panjang kabel yang lebih panjang dari $2l_1 = 440$ meter dan lebih

pendek dari $2l_2 = 1200$ meter akan ditandai “terlarang” untuk susunan sirkit uji ini. Dalam hal ini beberapa metode alternatif dari pengujian harus dicari. Sirkit uji dengan sifat karakteristik berbeda (frekuensi detektor, unit masukan, kapasitor kopling) dapat digunakan. Untuk menghilangkan superposisi dan memperoleh hasil yang ditunjukkan dengan titik x dalam Gambar 14, terminasi impedans karakteristik atau gawai elektronika (supresor pantulan) dapat digunakan. Semua panjang yang lain di luar “julat terlarang” dapat diukur dengan menggunakan metode yang diuraikan dalam butir a).

3.2 Prosedur dan parameter

3.2.1 Penentuan sifat karakteristik sirkit uji (lihat 2.3)

3.2.1.1 Superposisi (lihat 2.3.1 dan 2.6)

Seperti diuraikan sebelumnya, sirkit uji dapat dengan cepat dan mudah dievaluasi untuk eror superposisi gambar pulsa ganda yang diperoleh dengan menggunakan generator pulsa ganda. Gambar pulsa ganda dipengaruhi variasi pada masing-masing komponen sirkit. Karena itu adalah penting bahwa hal tersebut diperoleh untuk kondisi yang tepat yang akan digunakan dalam uji tegangan tinggi seperti ditunjukkan dalam Gambar 1 sampai 3 tetapi dengan menggantikan kabel dengan beban R yang berkaitan dengan impedans kabel karakteristik maksimum yang mungkin. Sirkit uji yang terdiri dari beban bersama-sama dengan komponen tegangan tinggi, kapasitor, detektor, unit masukan dan penguat detektor dievaluasi dengan menginjeksikan dua pulsa dengan penundaan waktu variabel ke dalam beban.

Pulsa ganda yang diinjeksikan dalam posisi yang sama seperti pulsa kalibrasi dalam bermacam sirkit uji ditunjukkan dalam Gambar 1 sampai Gambar 3. Harus dicatat bahwa dalam kasus sirkit yang ditunjukkan dalam Gambar 2 dan 3, generator pulsa ganda harus mampu beroperasi dengan kedua terminalnya diisolasi dari bumi.

Impedans karakteristik kabel tegangan tinggi diekstrusi berada dalam julat $10\ \Omega$ sampai $60\ \Omega$. Hal terburuk untuk efek superposisi adalah nilai yang lebih tinggi, $60\ \Omega$. Karena itu adalah penting untuk menyelaraskan impedans beban total ke nilai ini.

Karena umumnya impedans keluaran dari generator pulsa ganda yang tersedia secara komersial berada pada julat $50\ \Omega$ sampai $60\ \Omega$, metode yang paling sederhana dan disukai untuk mendapatkan gambar pulsa ganda adalah menggunakan generator seperti itu dan menghubungkan keluaran langsung melalui kapasitor tegangan tinggi C_K dan unit masukan Z_A dengan hubungan tanpa tabir yang pendek. Hubungan ini sebaiknya sependek mungkin; pengalaman telah menunjukkan bahwa hubungan sampai dengan 3 meter dapat diterima. Dalam hal ini impedans internal generator akan bertindak sebagai beban R . Jika impedans keluaran tidak $50\ \Omega$ sampai $60\ \Omega$, maka resistor tambahan harus dihubungkan seri (untuk nilai yang lebih rendah) atau paralel (untuk nilai yang lebih tinggi) dengan terminal generator. Untuk hubungan yang lebih panjang, kabel sinyal koaksial sebaiknya digunakan antara generator dan C_K serta Z_A (lihat Gambar 6). Bagian tanpa tabir dari hubungan antara kabel sinyal koaksial dan C_K serta Z_A lagi-lagi sebaiknya dijaga sependek mungkin dan kurang dari 3 meter. Untuk mencegah pantulan dalam kabel koaksial, kabel harus diakhiri dengan impedans karakteristiknya sebesar R_1 . Biasanya kabel dengan $50\ \Omega$ sampai $60\ \Omega$ akan digunakan dengan generator $50\ \Omega$ sampai $60\ \Omega$. Jika tidak, resistans eksternal akan diperlukan pada keluaran generator untuk menyelaraskan impedans keluaran generator total ke kabel sinyal.

Karena impedans total kabel sinyal diakhiri oleh R_1 yang besarnya setengah dari $50\ \Omega$ sampai $60\ \Omega$, diperlukan untuk menambah resistor tambahan R_2 secara seri dengan R_1

untuk memastikan bahwa sistem yang diselaraskan menampilkan impedans dalam julat 50 Ω sampai 60 Ω sebagai resistor beban.

Generator pulsa ganda diperlukan untuk menghasilkan dua pulsa dengan pemisahan waktu variabel antara 0,2 μs dan 100 μs dengan waktu daki ≤ 20 ns (10% sampai 90% nilai puncak). Yang terakhir akan memastikan bahwa transien yang disebabkan pulsa luahan parsial dan pulsa ganda mempunyai komponen frekuensi yang sama dalam julat lebar pita frekuensi detektor. Waktu antara 10% nilai muka gelombang dan ekor sebaiknya tidak lebih dari 150 ns untuk menentukan respons pemisahan pulsa yang lebih pendek ($t = 0,2 \mu\text{s}$). Pada pemisahan 100 μs , detektor luahan parsial tidak menunjukkan sebarang superposisi sehingga nilai yang didapat pada detektor digunakan sebagai acuan.

Pada pemisahan 0,2 μs , pulsa akan disuperposisi dan nilainya akan dua kali nilai acuan. Beberapa standar membatasi julat kalibrasi antara 1 μs dan 100 μs . Hal ini merupakan pembatasan yang tidak perlu. Banyak generator pulsa ganda yang tersedia secara komersial mencakup julat 0,2 μs ; efek penggandaan dapat dievaluasi secara tepat.

Walaupun gambar pulsa ganda dapat diperoleh dengan menggunakan tayangan osilografi detektor, adalah lebih baik untuk menggunakan osiloskop terpisah dengan dasar waktu yang dapat disetel untuk menayangkan dua pulsa secara memadai dan dengan skala vertikal terkalibrasi. Osiloskop seperti itu juga diperlukan untuk mengukur penundaan waktu karena pembacaan langsung dari beberapa generator pulsa ganda tidak memadai. Gambar tipikal ditunjukkan pada Gambar 7, 8 dan 9 dan dapat dilihat kaitannya dengan Gambar 14. Interval waktu dapat dikonversikan ke panjang kabel dengan rumus:

$l = \frac{1}{2} \cdot t \cdot v$. Dari perhitungan seperti itu dimungkinkan untuk menentukan panjang yang penting l_k , l_1 dan l_2 .

3.2.1.2 Impedans terminal (lihat 2.3.2 dan 2.7)

Error superposisi dapat dihindari jika kabel dipasang dengan terminasi tegangan tinggi yang mempunyai impedans karakteristik. Adalah penting bahwa resistans yang digunakan mempunyai nilai yang tepat dan untuk alasan ini diperlukan untuk memeriksa terminasi secara reguler untuk memastikan keefektifannya untuk kabel yang diuji. Biasanya impedans terminal terdiri dari komponen tegangan rendah terhubung seri dengan kapasitor tegangan tinggi. Perlu diperhatikan untuk memastikan bahwa kapasitor tersebut tidak menghasilkan kombinasi reaktif sehingga meniadakan penggunaan terminasi. Rumus yang sesuai diberikan dalam 2.7. Ada insentif keuangan untuk menjaga kapasitor tegangan tinggi mempunyai nilai kapasitans serendah mungkin dan sesuai dengan pembatasan error total sebesar 30%, perubahan pada pengukuran a_2 dengan dan tanpa kapasitor diperbolehkan sebesar $\pm 15\%$.

Namun persyaratan impedans terminasi dapat berarti tegangan tinggi yang mahal; karena itu diperlukan kapasitor bernilai tinggi. Biaya dan waktu tersebut untuk menyelaraskan nilai resistor dapat mempengaruhi beberapa organisasi untuk menggunakan teknik alternatif.

3.2.1.3 Supresor pantulan (lihat 2.3.3)

Baru-baru ini saja supresor elektronika efektif telah tersedia secara komersial. Akibatnya penggunaannya belum luas dan pengalaman terbatas. Namun tidak ada alasan mengapa teknik ini belum menjadi sesuatu yang efektif.

3.2.1.4 Muatan kalibrasi (lihat 2.3.4)

Metode alih muatan dari kalibrasi muatan direkomendasikan dan latar belakangnya dibahas dalam IEC 60270. *Gain* detektor komersial sebaiknya linear tetapi 2.3.4 mensyaratkan kalibrasi yang dilakukan pada setelan *gain* yang digunakan. Hal ini akan mencegah eror tak linear. Sebagai tambahan, beberapa detektor mempunyai bentuk gelombang yang tergantung *gain* dan karena adalah bentuk gelombang yang menentukan efek superposisi, hal ini terutama untuk mencegah eror karena itu maka persyaratan *gain* ditentukan.

3.2.1.5 Kepekaan (lihat 2.3.5)

Pengukuran luahan pada kabel sering dilakukan pada batas kepekaan yang dapat dicapai dalam lingkungan pabrikan kabel. Hal ini biasanya ditentukan oleh interferens latar belakang eksternal. Dalam hal ini penggunaan picocoulomb-meter jarang dapat digunakan. Tayangan osiloskop akan mengizinkan beberapa identifikasi antara sinyal deran dan sinyal luahan.

3.2.2 Prosedur pengukuran (lihat 2.4)

3.2.2.1 Panjang kabel yang pendek $l < l_k$ (lihat 2.4.1)

a) Persyaratan

Panjang kabel yang sangat pendek sampai dengan 20 meter, berperilaku seperti kapasitor jika gelombang berjalan mencapai kedua ujung kabel di dalam durasi luahan pada rongga kosong. Hal seperti itu tidak akan ada eror superposisi. Namun pengukuran luahan sering tidak cermat ketika mencoba untuk memperkirakan besaran luahan. Dapat dipertimbangkan bahwa beberapa eror superposisi dapat ditoleransi tanpa mengganggu eror yang lebih umum, yaitu untuk menentukan panjang kabel yang pendek tersebut seperti itu jika kabel yang berperilaku seperti kapasitor tidak dapat dibenarkan dibatasi. Dapat dipertimbangkan bahwa eror superposisi sampai dengan 30% dapat diterima. Sebaiknya ditekankan bahwa ada ketentuan konsensus yang mana kabel dapat diuji sebagai panjang kabel yang pendek tanpa kesulitan lebih lanjut. Namun dengan menyetujui hal ini dimungkinkan untuk menguji panjang kabel sampai dengan 1000 meter dengan cara ini. Nilai aktual akan tergantung dari sirkit uji. Hal ini dapat ditentukan dari gambar pulsa ganda.

Panjang kabel yang pendek berkaitan dengan bagian paling kanan dari Gambar 14 a) dan b) atau bagian kiri Gambar 7, 8 dan 9. Di dalam daerah superposisi positif, panjang kabel yang pendek $l = l_k$ ditentukan seperti itu jika gelombang tegangan dihasilkan dari superposisi dari deretan gelombang "awal" dan "pantulan" telah berkurang sampai 70 % nilai a_2 yang didapat dari luahan pada ujung jauh dari detektor, yaitu $A_t/A_{100} = 1,4$ dalam Gambar 7, 8 dan 9. Namun panjang sampai dengan $2l_k$ berperilaku sebagai panjang kabel yang pendek ketika kedua ujung kabel dihubungkan bersama-sama dan $a_2 \geq a_1$ (lihat Gambar 15).

b) Verifikasi kepekaan

Untuk tujuan kalibrasi, kalibrator dihubungkan ke ujung jauh dari detektor. Hal ini akan mengompensasi untuk setiap atenuasi dan membatasi eror superposisi menjadi kurang dari 30%.

3.2.2.2 Panjang kabel yang panjang $l > l_k$ tanpa impedans terminal (lihat 2.4.2)

a) Persyaratan

Untuk panjang lebih dari l_k eror umumnya akan lebih besar dari 30%. Jika sirkit uji, detektor dan panjang kabel diuji pada daerah superposisi positif (lihat Gambar 7) eror karena superposisi akan antara 0% dan 100%. Dengan pendeteksian dari masing-masing ujung kabel secara bergantian seperti pada Gambar 16, dimungkinkan untuk memastikan bahwa eror superposisi hanya dapat menghasilkan perkiraan berlebihan. Penurunan dalam sinyal awal hanya dapat disebabkan oleh atenuasi dan penurunan ini dapat dihitung dan dikompensasi menjadi lebih kecil dari 30% dengan menggunakan nilai faktor koreksi F dalam persamaan kalibrasi.

Namun dalam daerah superposisi negatif, terjadi perkiraan yang terlalu kecil dari besaran luahan – dan jumlahnya tidak dapat dihitung. Walaupun beberapa standar menerima superposisi negatif sebesar 15%, ada cukup kemungkinan untuk menghindari kondisi ini – dengan merubah sirkit uji atau respons penguat – sehingga tidak perlu untuk melakukan setiap pengujian jika superposisi negatif dapat terjadi. Jika superposisi negatif dapat terjadi dengan setiap kombinasi sirkit uji/penguat, rekomendasinya adalah bahwa panjang kabel yang berkaitan dengan superposisi negatif tidak diuji. Panjang berkaitan dengan t_1 dan t_2 ditunjukkan pada Gambar 8 dan 9 sebagai $2l_2 > l > 2l_1$ dengan $A_t/A_{100} < 1$ dianggap terlarang untuk sirkit uji.

Jika kedua ujung kabel dihubungkan bersama, harus berlaku kondisi berikut:

diagram pulsa ganda harus jenis 1 (lihat Gambar 7);

$$a_2 \geq a_1,$$

kemudian eror maksimum karena atenuasi selalu lebih kecil dari 30% (lihat Gambar 15)

b) Verifikasi kepekaan

Eror atenuasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang diberikan pada 2.4.2 b) untuk faktor koreksi F . Jika tanpa atenuasi, nilainya diukur dengan menginjeksikan pada ujung jauh dari detektor a_2 akan menjadi sebesar $2 \times a_1$, sedangkan dengan atenuasi, a_2 akan menjadi lebih kecil dari $2 \times a_1$. Kriteria yang berlaku haruslah eror tidak boleh lebih dari 30%. Seperti ditunjukkan pada Gambar 16, eror atenuasi yang terbesar adalah pada tengah-tengah kabel jika pengukuran dilakukan dari masing-masing ujung secara bergantian dan nilai yang lebih tinggi dipertimbangkan. Karena itu kriterianya adalah bahwa nilai yang diukur adalah $a(x = \frac{1}{2}l) \geq 0,7 a_1$ (a_1 adalah nilai yang diukur karena luahan di ujung terdekat detektor). Atenuasi mengikuti kaidah eksponensial, yaitu:

$$a(x) = a_1 \exp(-\gamma \cdot x)$$

Jika nilai a_2 diukur dengan superposisi dari luahan di ujung jauh dari detektor, $x = l$, nilai tanpa superposisi adalah $a_2/2$ (seperti ditunjukkan pada Gambar 13)

$$\text{yaitu } a(x = l) = a_2/2 = a_1 \exp(-\gamma \cdot l)$$

$$\text{atau } \gamma l = \ln\left(\frac{2a_1}{a_2}\right)$$

$$\text{dan } a(x = \frac{1}{2} l) = a_1 \exp(-\frac{1}{2} \cdot \ln \frac{2a_1}{a_2}) \geq 0,7 a_1$$

$$\text{yaitu } \sqrt{\frac{a_1 \cdot a_2}{2}} \geq 0,7 a_1$$

$$\text{atau } a_2 \geq 0,98 a_1$$

Jadi asalkan $a_2 \geq a_1$ atenuasi akan tidak menghasilkan eror yang lebih besar dari 30%. Untuk panjang kabel yang lebih panjang, dengan $a_2 < a_1$, perlu menghitung nilai untuk faktor koreksi F dan menyisipkannya dalam persamaan kalibrasi.

$$F \cdot a(x = \frac{1}{2} l) \geq 0,7 a_1$$

$$F \cdot \sqrt{\frac{a_1 \cdot a_2}{2}} \geq 0,7 a_1$$

$$\text{atau } F = \sqrt{\frac{a_1}{a_2}}$$

c) Prosedur uji

Butir 2.4.2 mensyaratkan bahwa untuk panjang $l > l_k$ uji luahan dilakukan pertama dari satu ujung dan kemudian ujung lainnya. Alasan untuk ini dapat secara jelas dilihat dari Gambar 17, 18, 19 dan 20. Untuk panjang $l > l_1$ (dalam contoh ini 330 meter) suatu perkiraan lebih rendah dari besaran luahan dapat terjadi dalam daerah superposisi negatif antara l_1 dan l_2 , seperti dalam Gambar 17, jika pengukuran dilakukan hanya dari satu ujung. Namun dengan pengujian dari ujung yang kedua dan dengan mengambil nilai yang lebih tinggi dari besaran luahan sebagai nilai sebenarnya, eror negatif dapat dihindari (lihat kurva yang dihasilkan -.- dalam Gambar 18). Hal ini bukan kasus untuk panjang antara $2l_1$ dan $2l_2$ (panjang yang terlarang $2l_1 \leq l \leq 2l_2$) seperti ditunjukkan dalam Gambar 19; eror negatif dari luahan di tengah-tengah kabel tidak dapat dihindari dan ini adalah daerah terlarang. Untuk panjang $l \leq 2l_1$ hanya superposisi positif yang akan terjadi (Gambar 20).

3.2.2.3 Panjang kabel yang panjang yang diuji dengan impedans terminal (lihat 2.4.3)

b) Verifikasi kepekaan

Dengan kabel determinasi secara tepat, diperoleh kurva yang berkaitan dengan titik x dalam Gambar 14. Respons dengan kalibrator pada ujung jauh, a_2 kurang dari a_1 . Jika hanya a_2 yang digunakan untuk tujuan kalibrasi, luahan terdekat ke detektor akan diperkirakan berlebihan. Dengan pabrikan bermutu tinggi, jarang luahan akan terdeteksi pada tingkat tegangan spesifikasinya. Karena itu cukup memadai untuk menguji kebebasan luahan yang ditetapkan terhadap kepekaan yang ditentukan dari a_2 .

Jika luahan terdeteksi, kalibrasi dari kedua ujung kabel digunakan untuk menentukan batas aktual seakurat mungkin. Metode dengan menggunakan faktor koreksi F (lihat

2.4.2 b)) tidak diizinkan sebab kemungkinan eror sebesar 15% untuk impedans terminal harus diperhitungkan.

Suatu luahan dengan besaran q pada posisi x mungkin menghasilkan respons A_1 . Atenuasi dengan panjang mengikuti suatu hubungan eksponensial, yaitu:

$$A_1 = E \cdot q \cdot \exp(-\gamma \cdot x)$$

dengan E adalah konstanta perlengkapan.

Dengan detektor dihubungkan ke ujung lain kabel didapat respons A_2

$$A_2 = E \cdot q \cdot \exp(-\gamma (l - x))$$

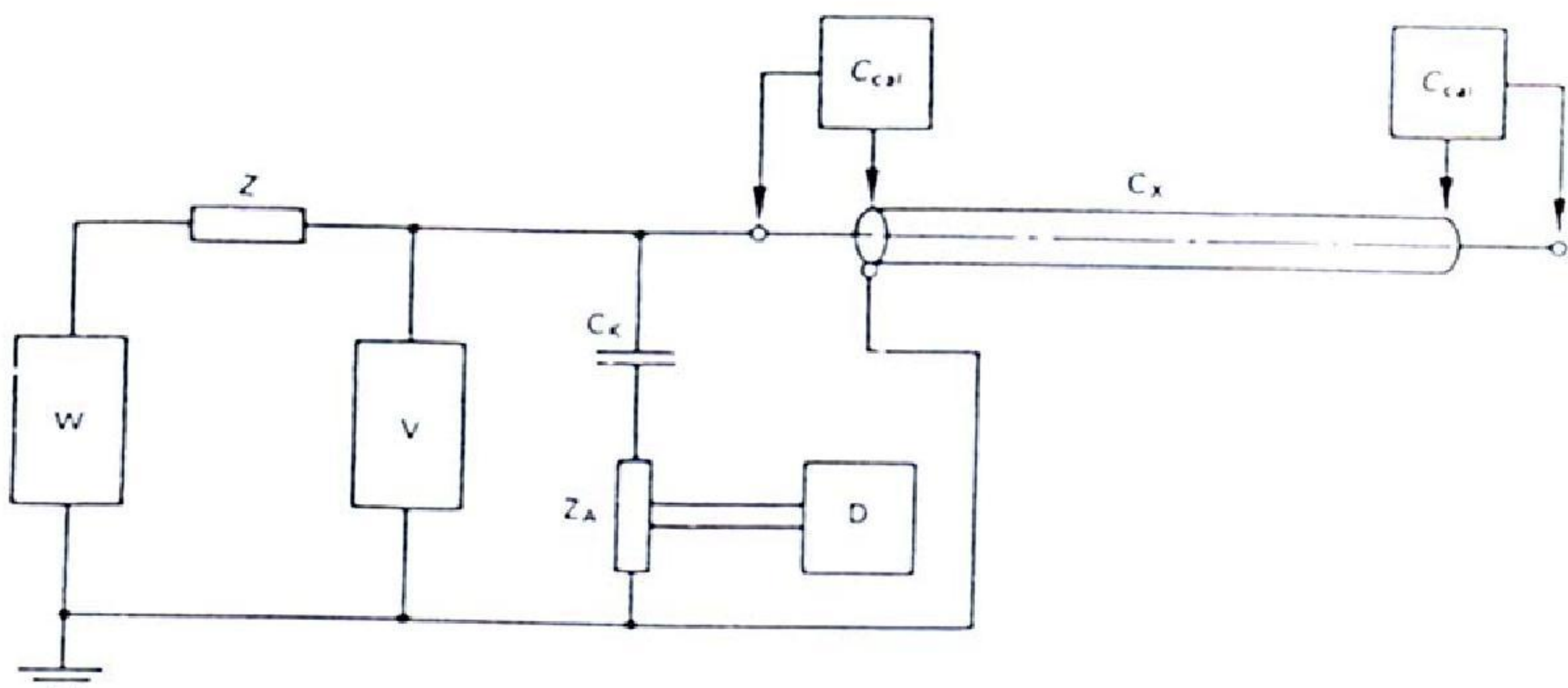
Jika muatan kalibrasi q_{cal} digunakan pada $x = 0$ dan $x = l$ untuk menghasilkan respons a_1 dan a_2

$$a_1 = E \cdot q_{cal} \text{ dan } a_2 = E \cdot q_{cal} \exp(-\gamma \cdot l)$$

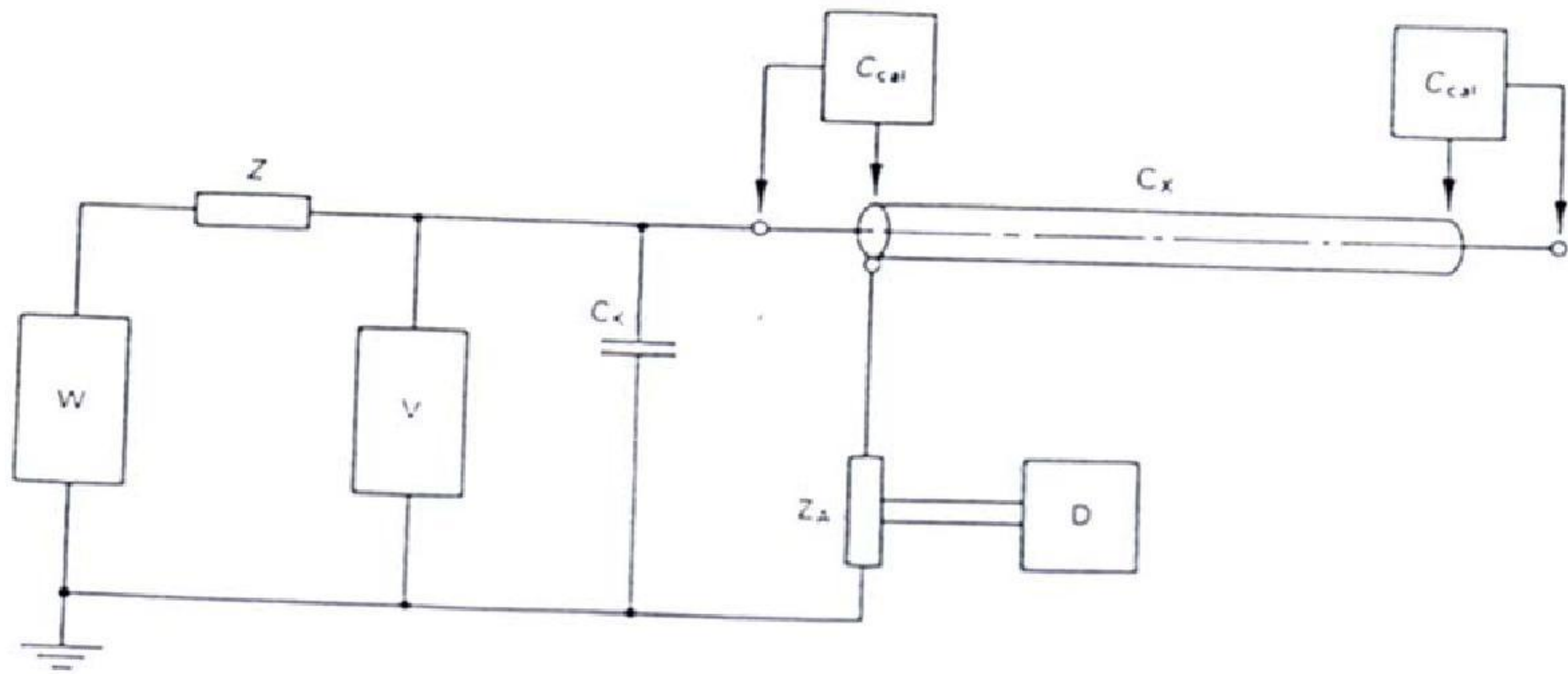
$$\text{dengan } A_1 A_2 = E^2 \cdot q^2 \exp(-\gamma \cdot l)$$

$$\text{dan } a_1 a_2 = E^2 \cdot q_{cal}^2 \exp(-\gamma \cdot l)$$

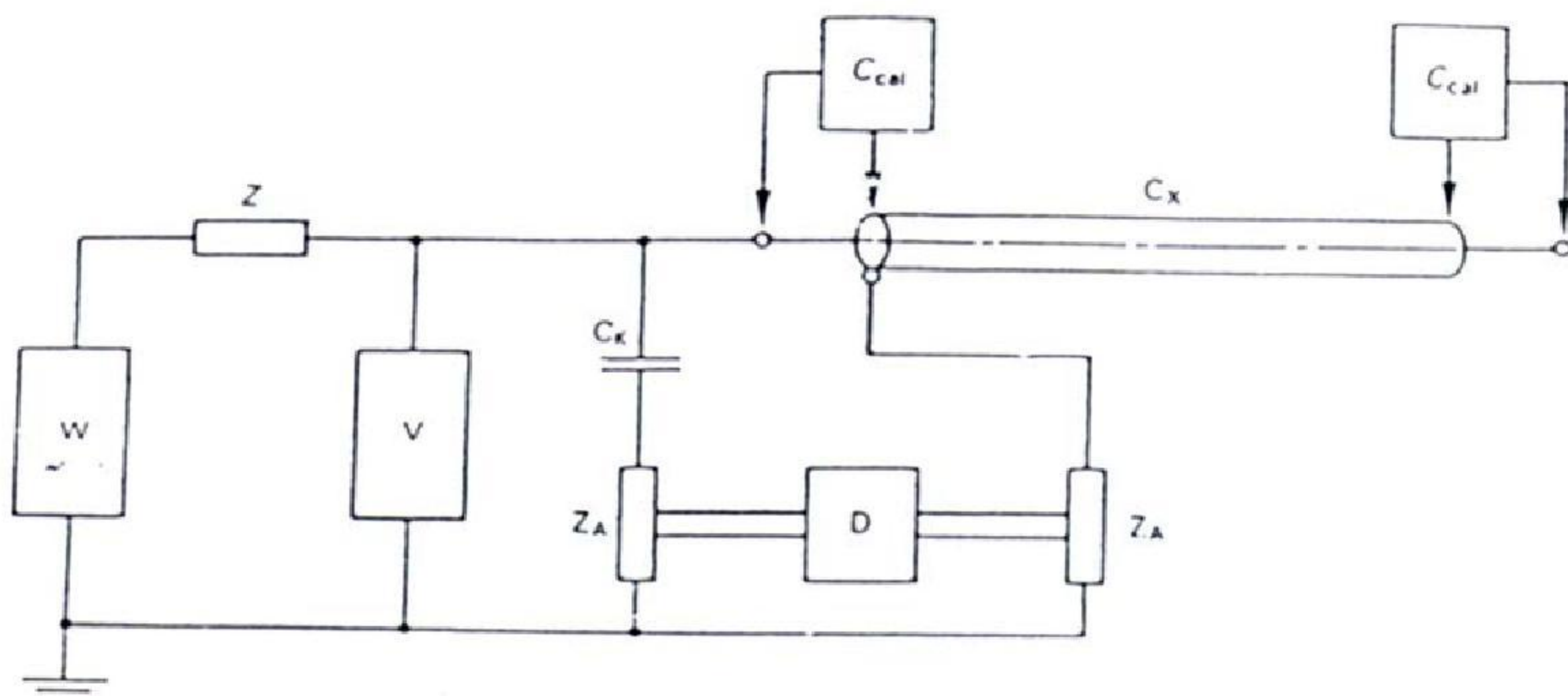
$$\text{atau } q = q_{cal} \sqrt{\frac{A_1 A_2}{a_1 a_2}}$$



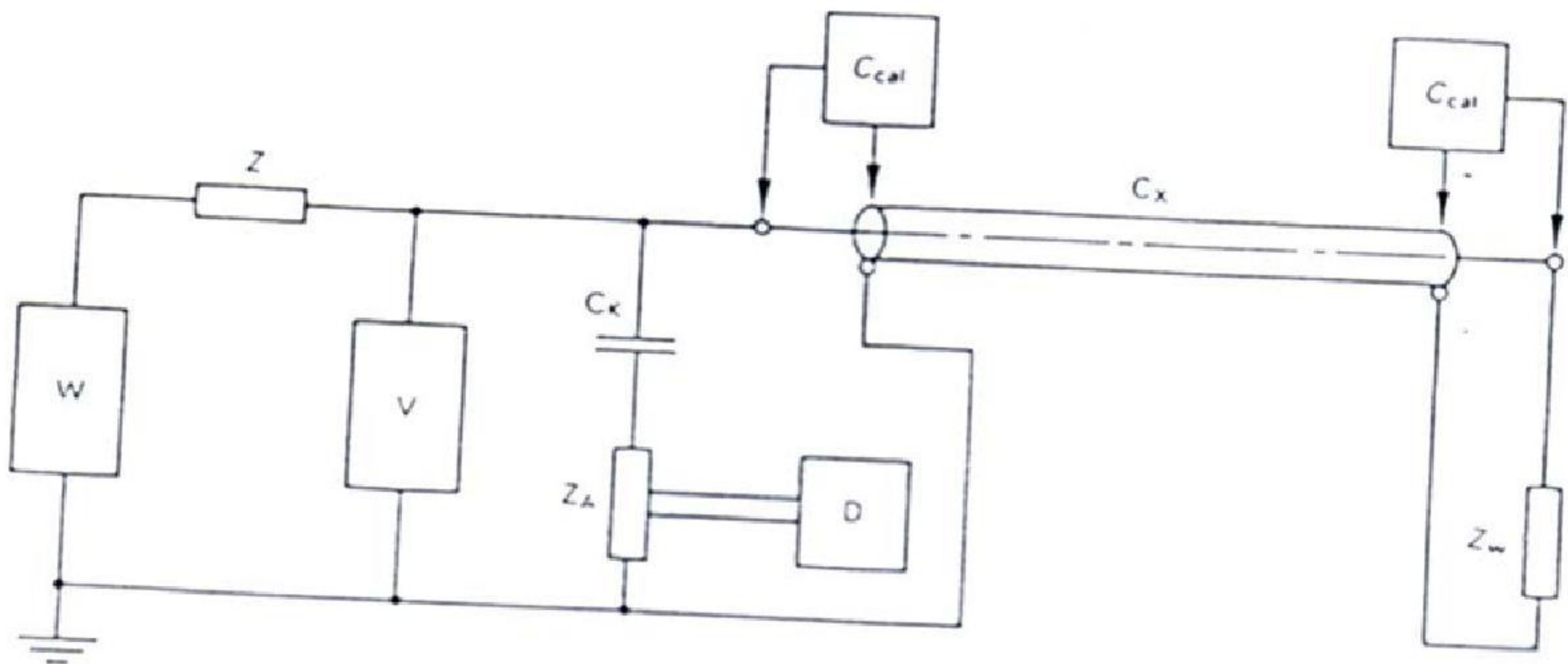
Gambar 1 Unit masukan Z_A dihubungkan seri dengan`kapasitor kopling C_k .



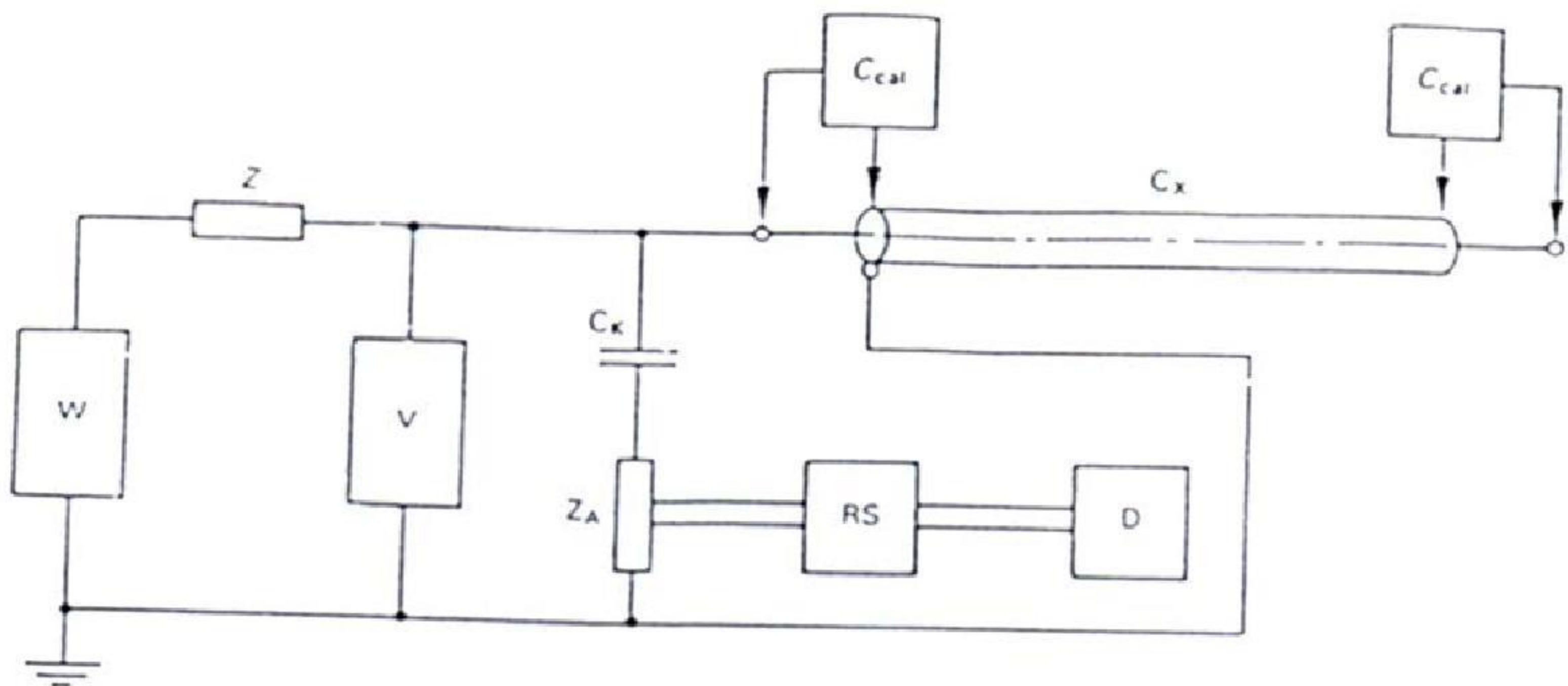
Gambar 2 Unit masukan Z_A dihubungkan seri dengan kabel C_x .



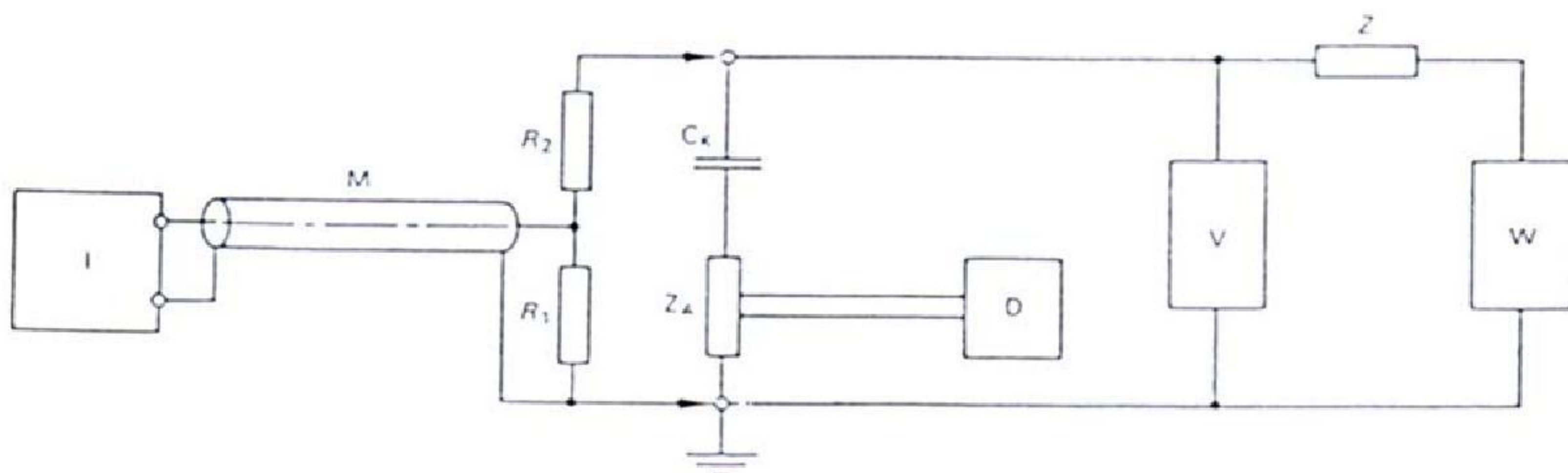
Gambar 3 Sirkit jembatan



Gambar 4 Hubungan impedans terminal Z_w .

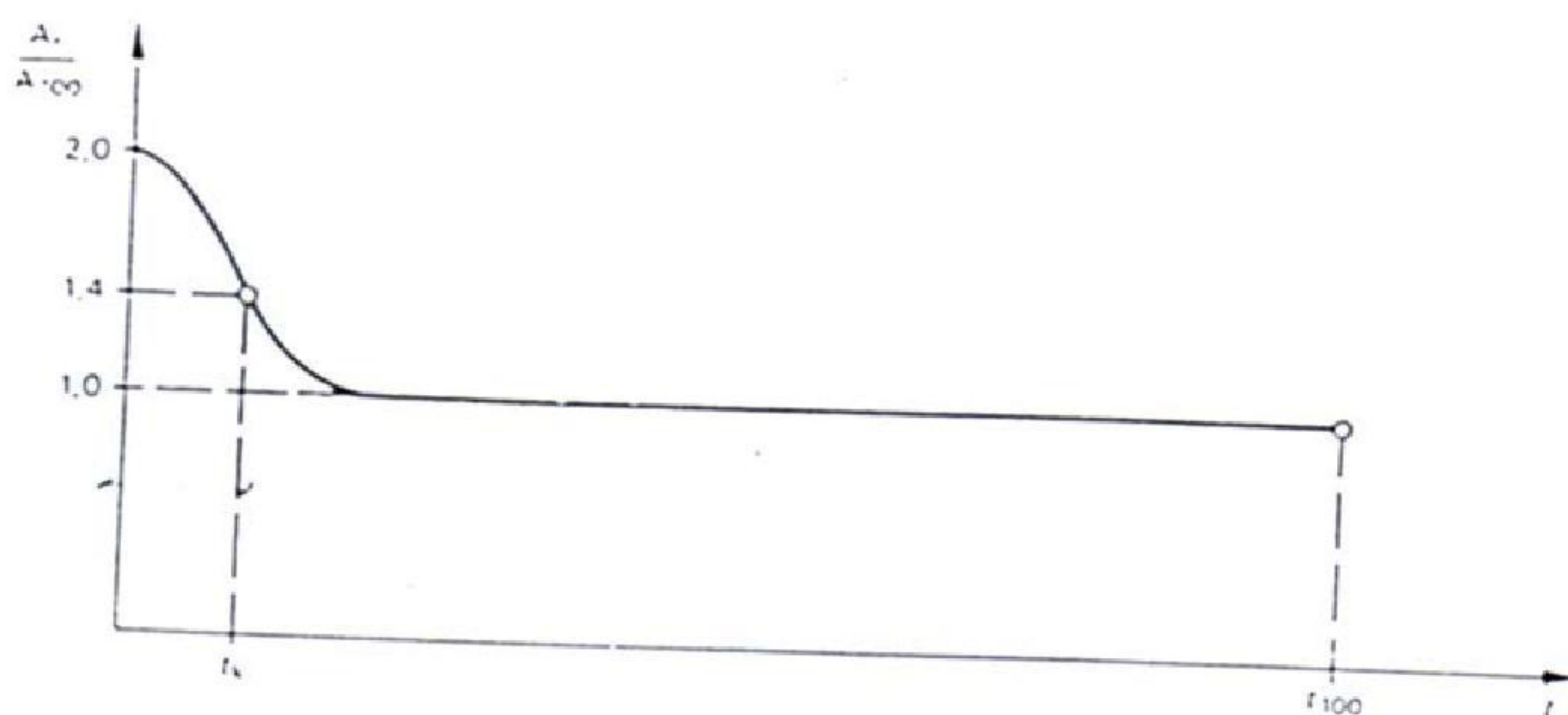


Gambar 5 Hubungan supresor pantulan R_S .

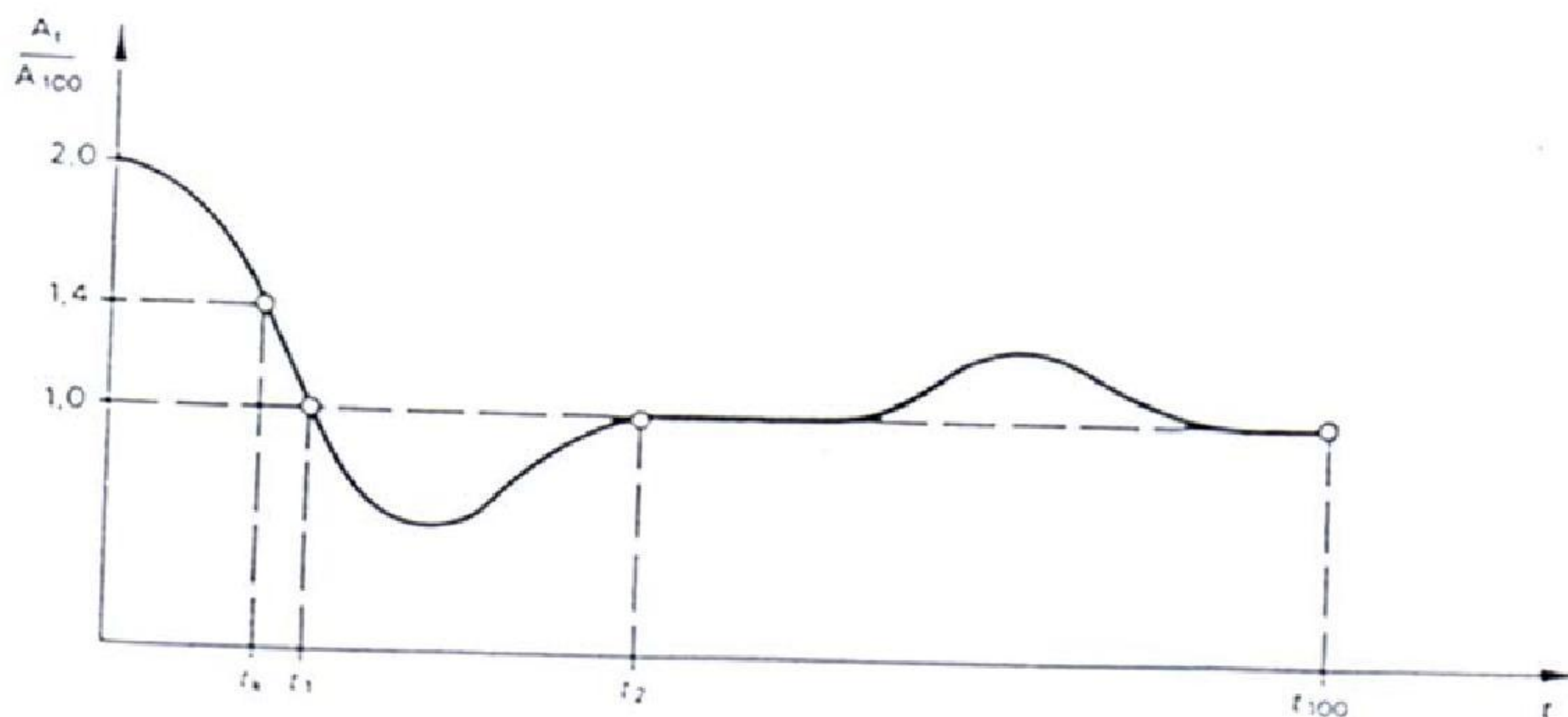


- R_1 = resistor penyalaras dengan nilai yang sesuai dengan impedans karakteristik kabel sinyal koaksial M
- R_2 = resistor penyalaras dengan nilai $R_2 = R - \frac{R_1}{2}$ (resistans beban R 50 Ω sampai 60 Ω)

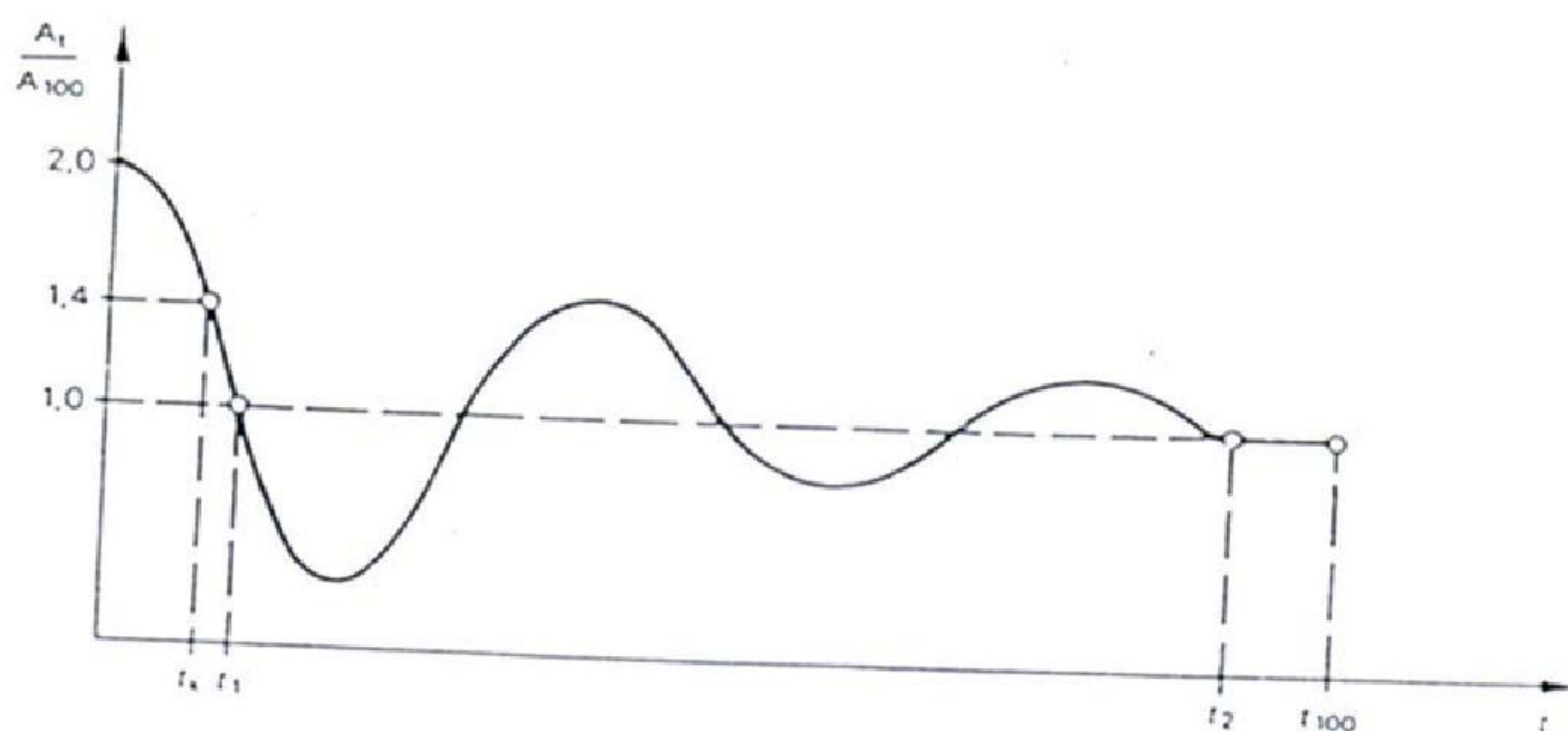
Gambar 6 Hubungan generator pulsa ganda ke dalam sirkit ukur pada Gambar 1



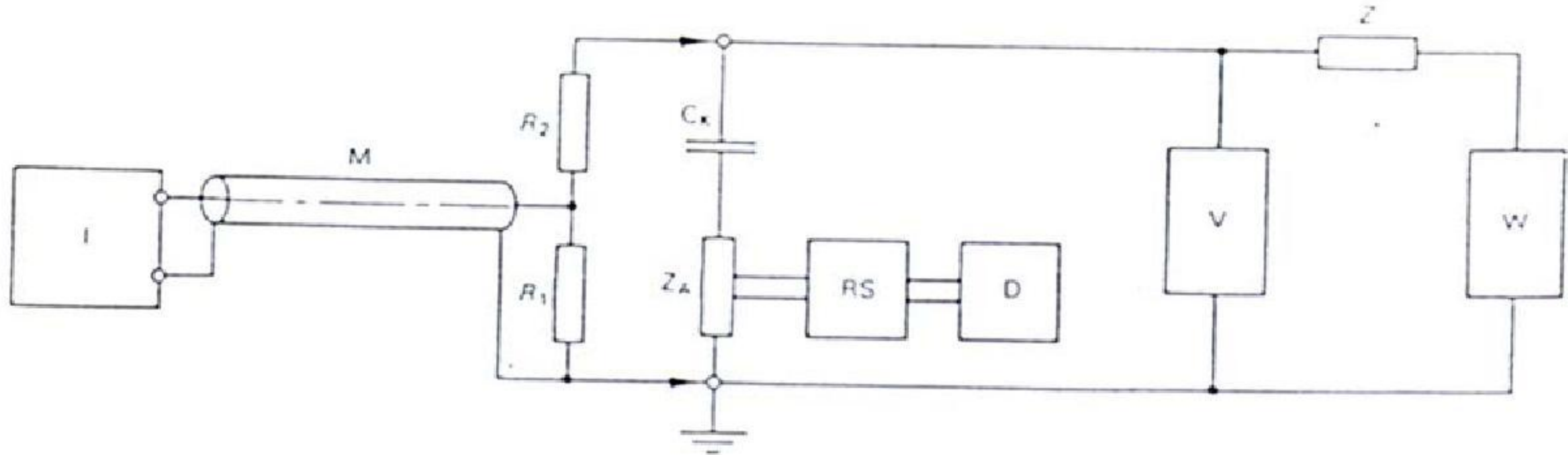
Gambar 7 Diagram pulsa ganda jenis 1 tanpa superposisi negatif



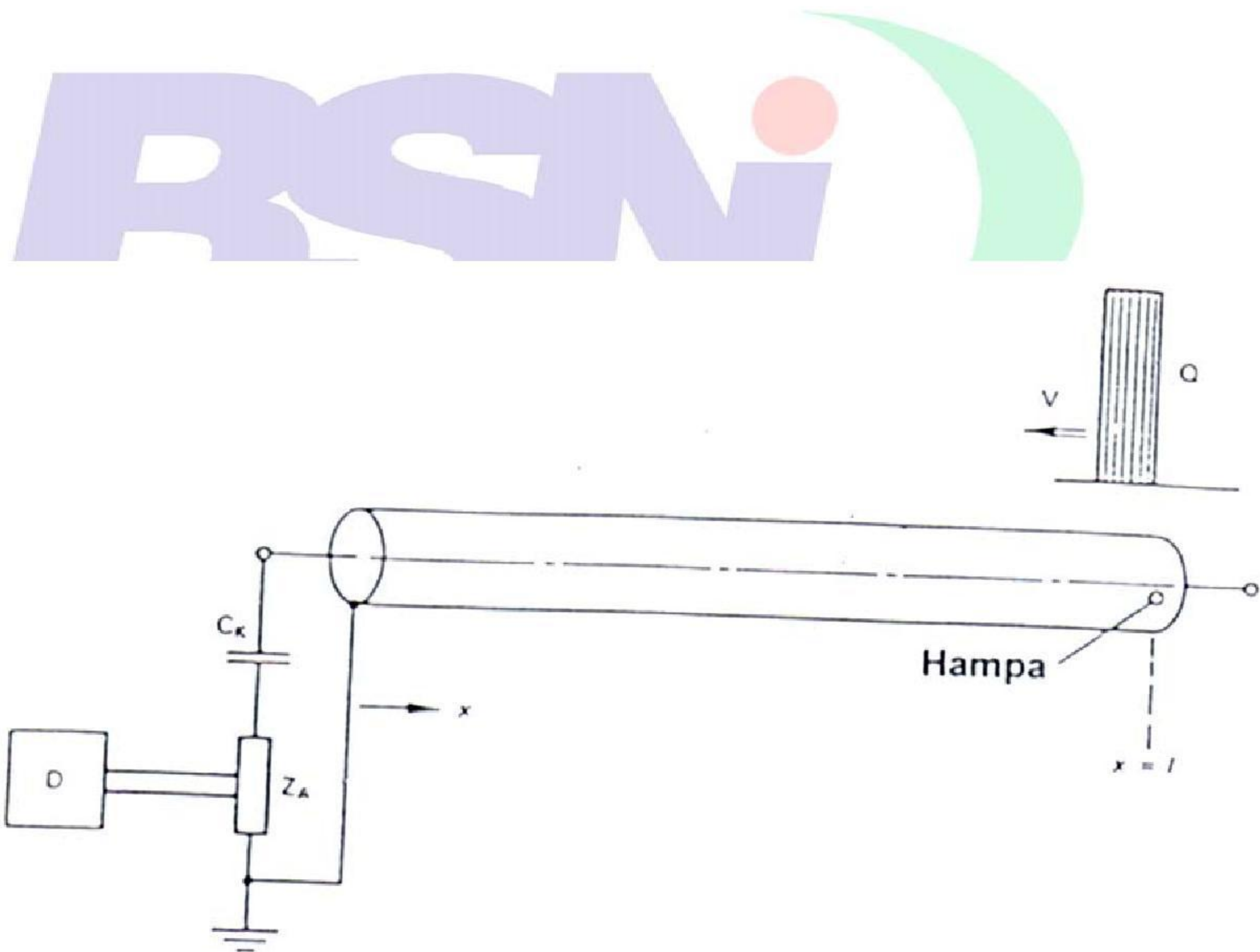
Gambar 8 Diagram pulsa ganda jenis 2 dengan superposisi negatif antara t_1 dan t_2 . Pengaruh superposisi positif antara t_2 dan t_{100} diabaikan



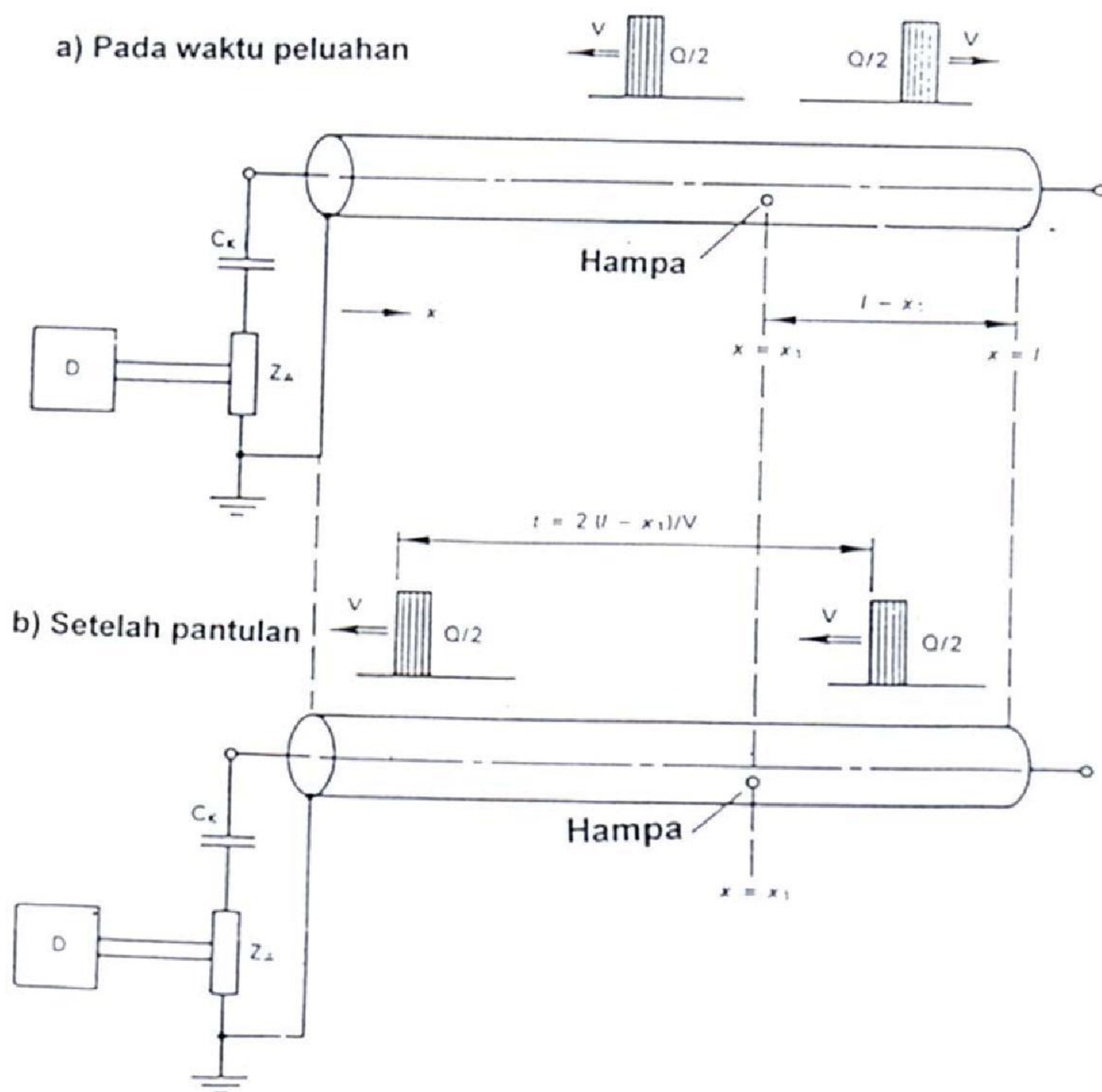
Gambar 9 Diagram pulsa ganda jenis 3 dengan superposisi negatif dan positif antara t_1 dan t_2



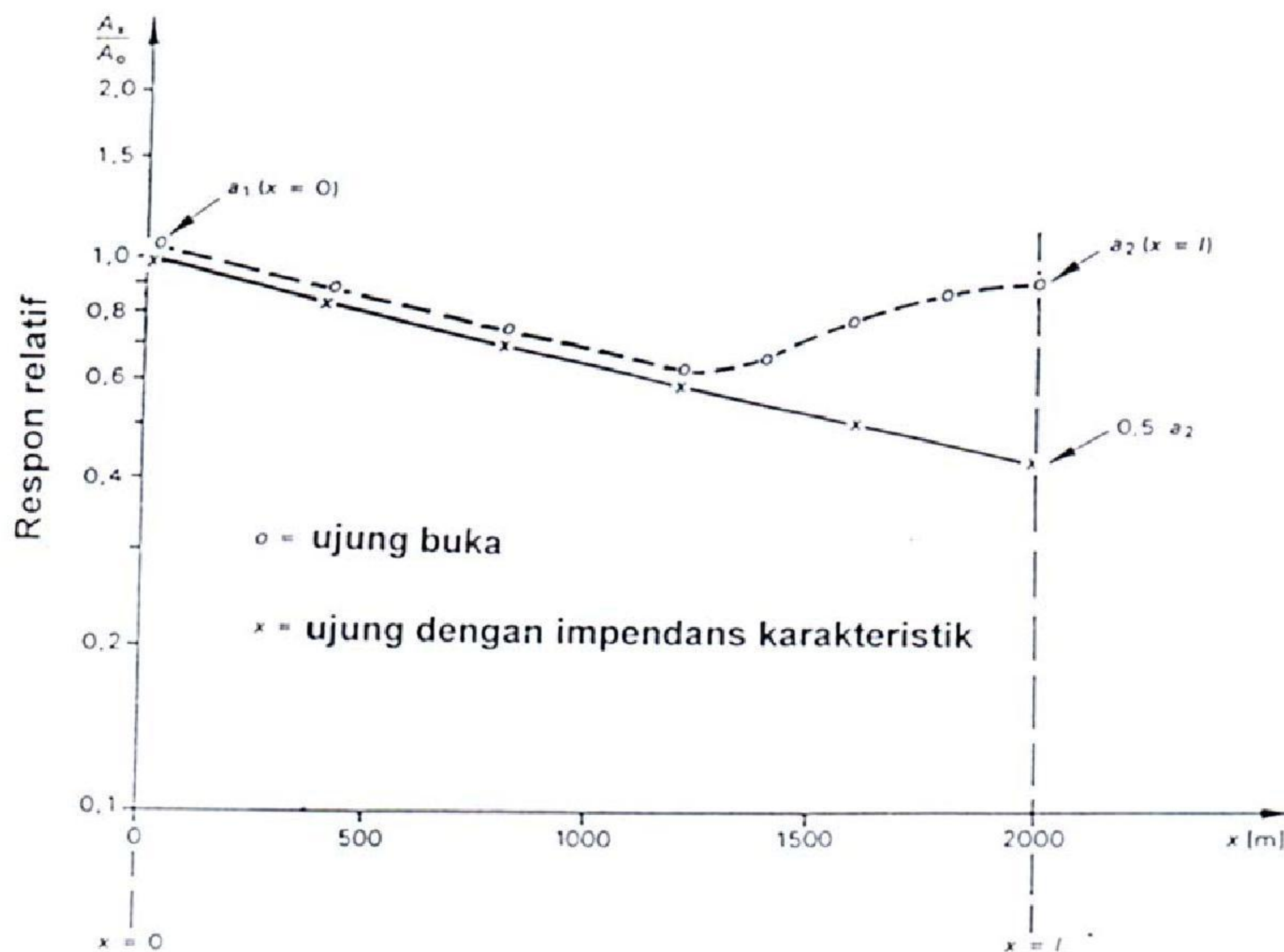
Gambar 10 Hubungan generator pulsa ganda untuk sirkit uji pada Gambar 5 dengan supresor pantulan



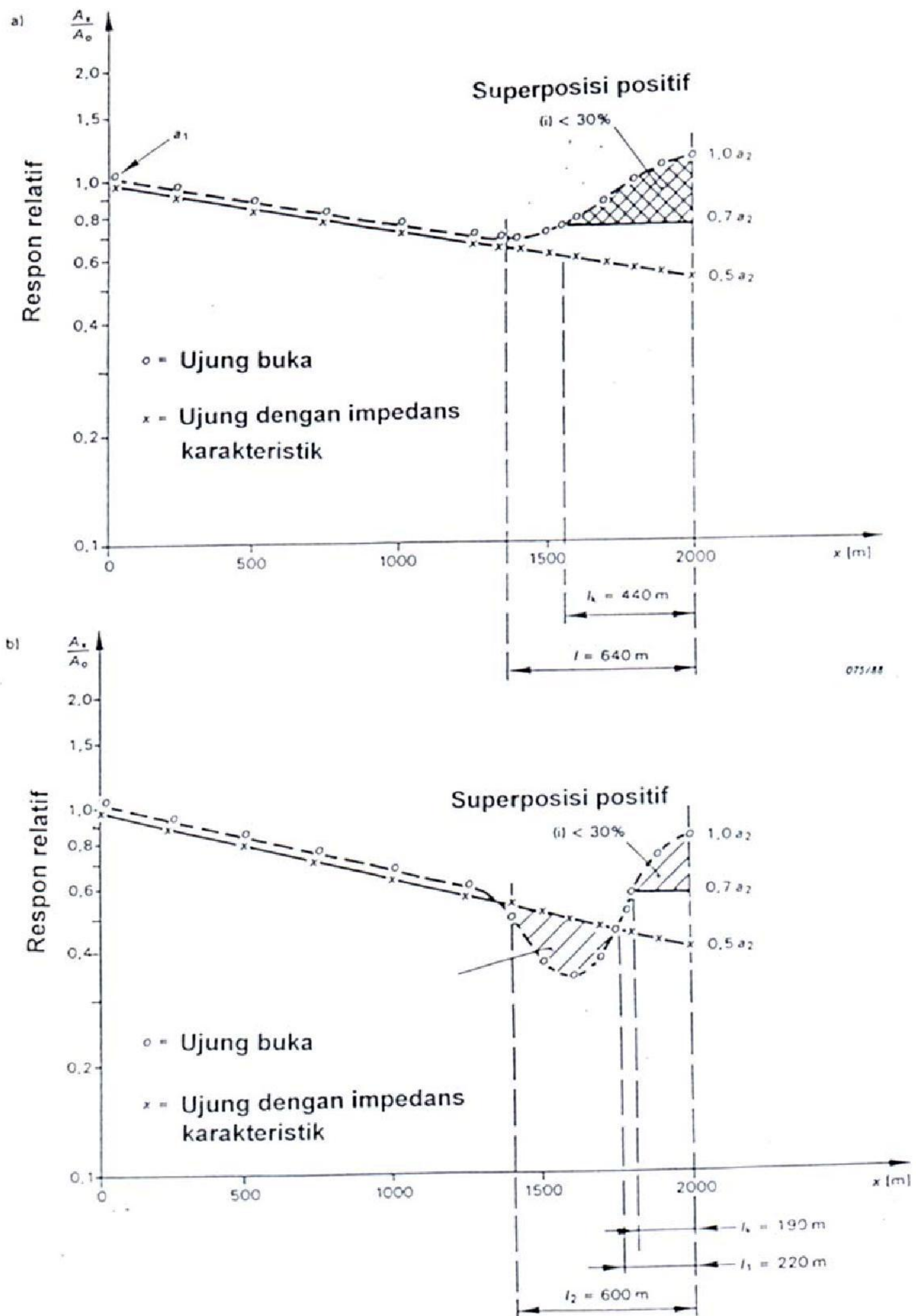
Gambar 11 Tempat luahan yang tepat pada ujung kabel yang jauh dari detektor ($x = l$)



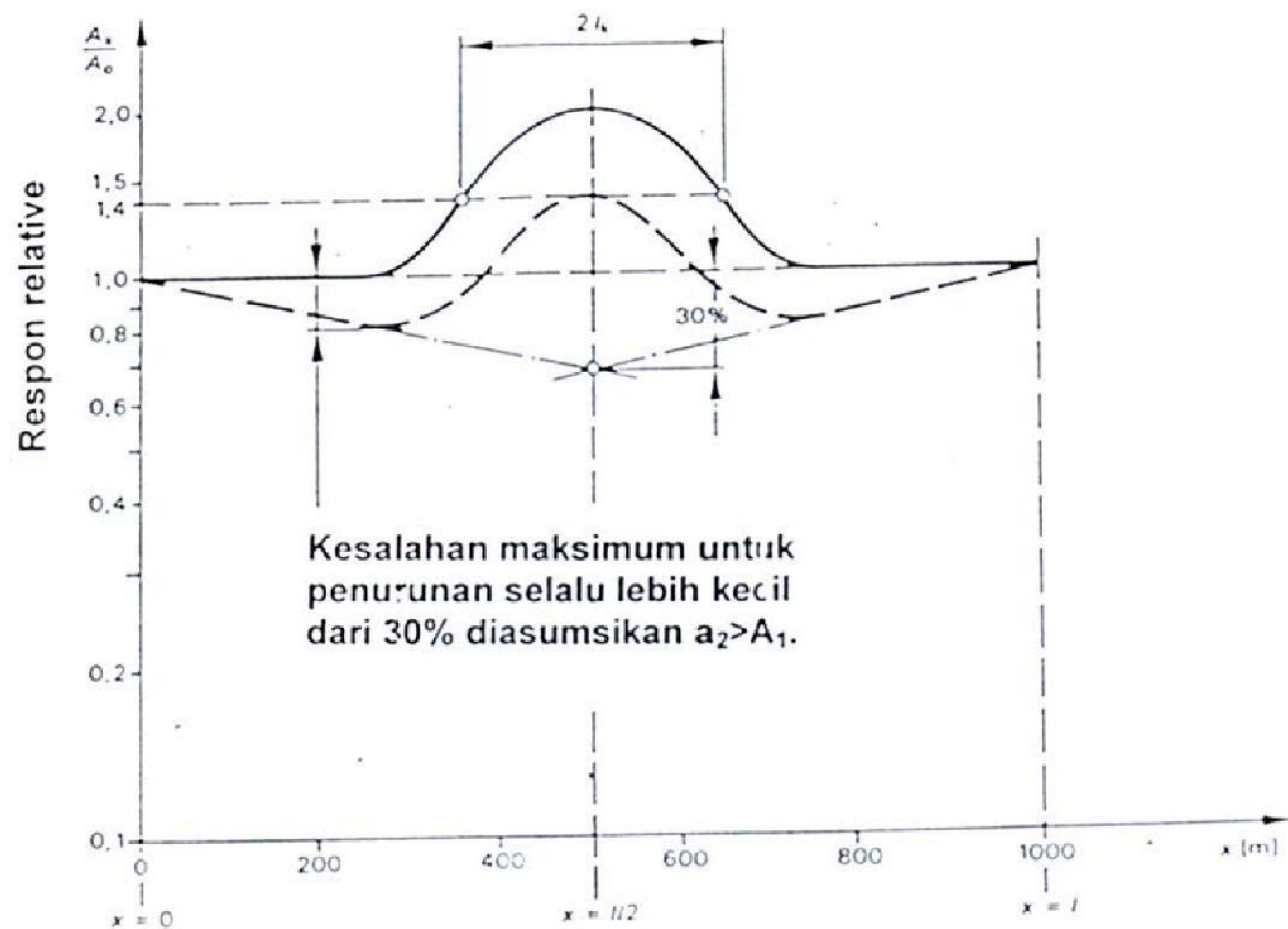
Gambar 12 Tempat luahan pada jarak $x = x_1$. Gelombang berjalan.



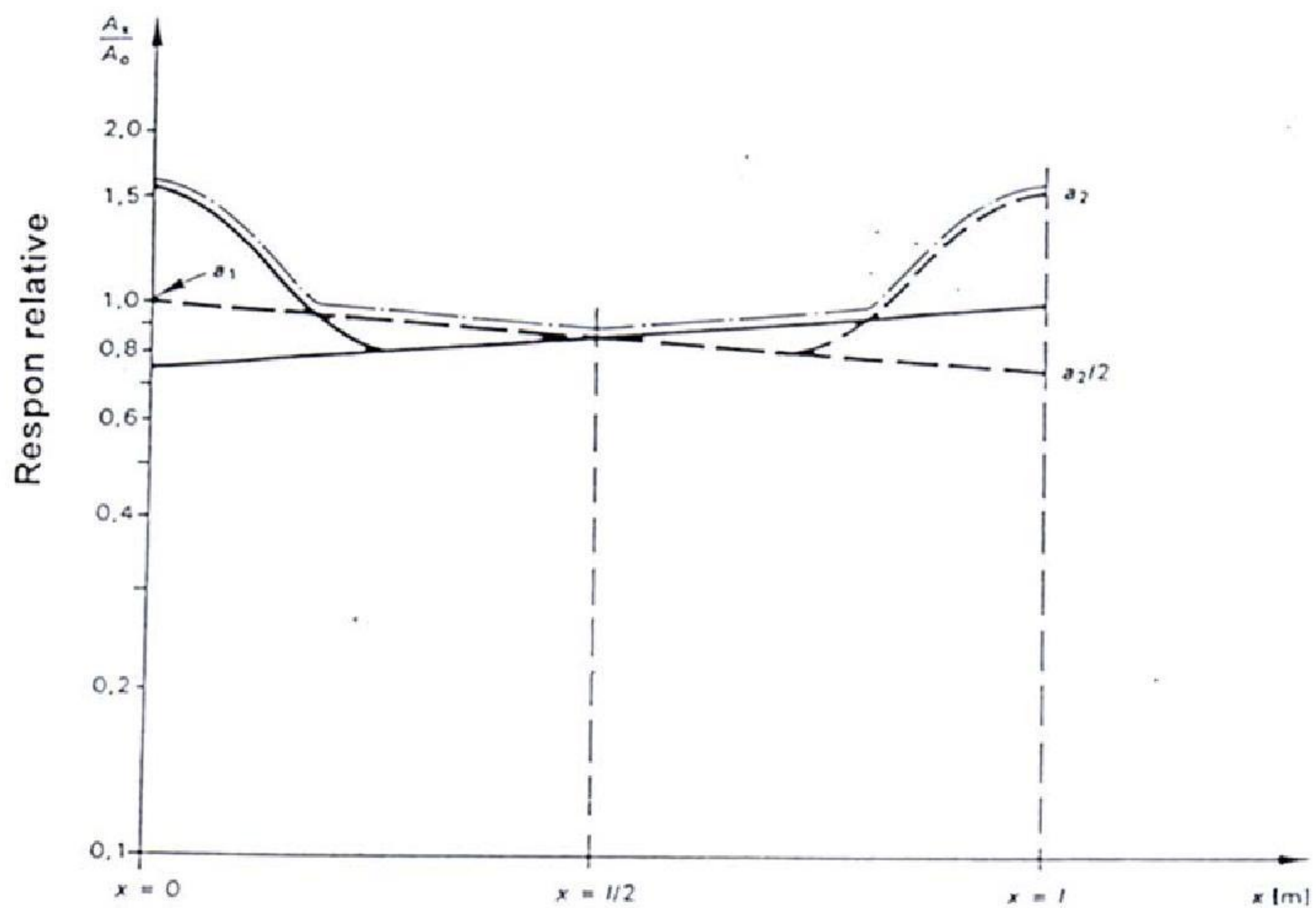
Gambar 13 Atenuasi pulsa luahan parsial sepanjang kabel



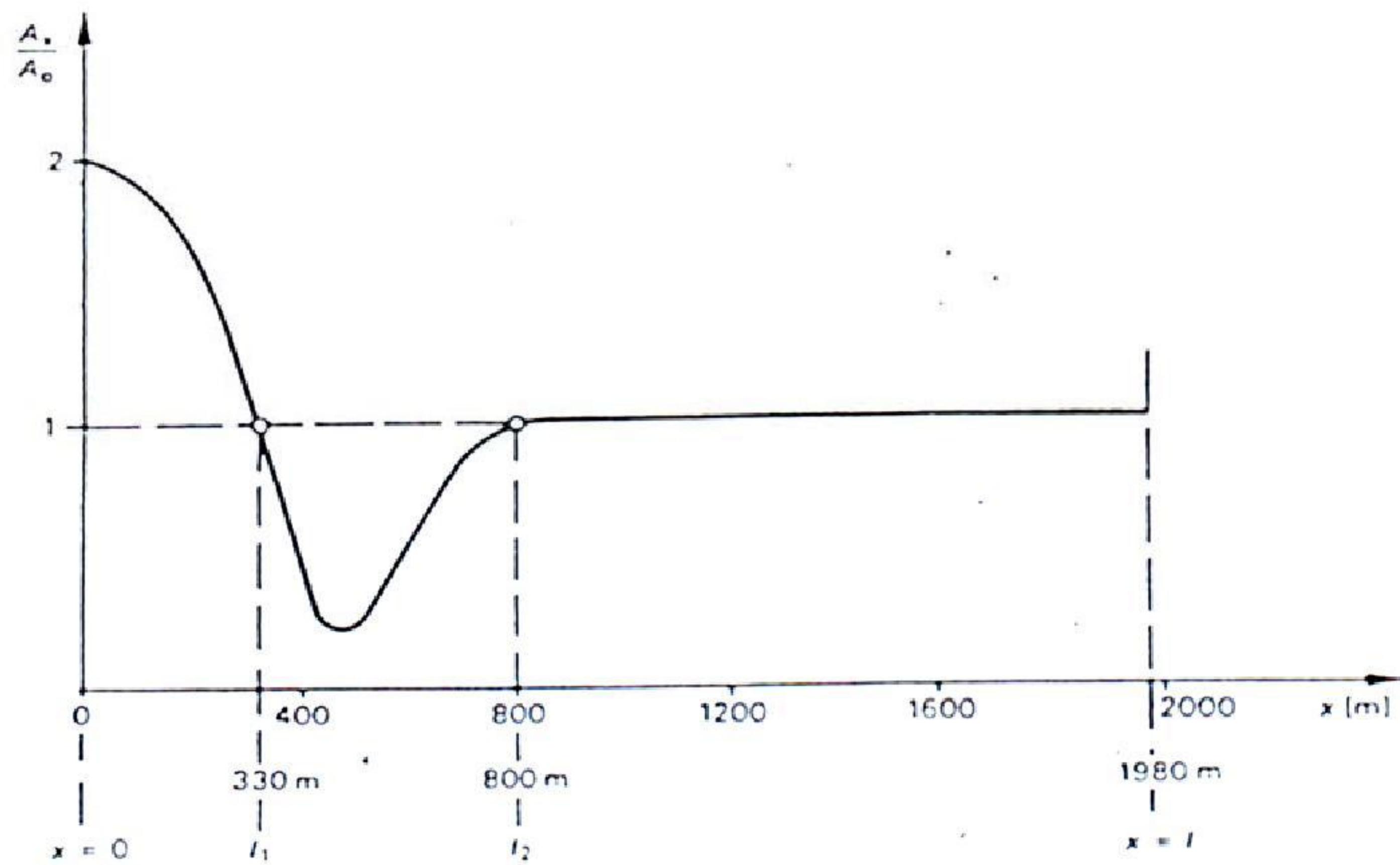
Gambar 14 Superposisi dan atenuasi luahan parsial



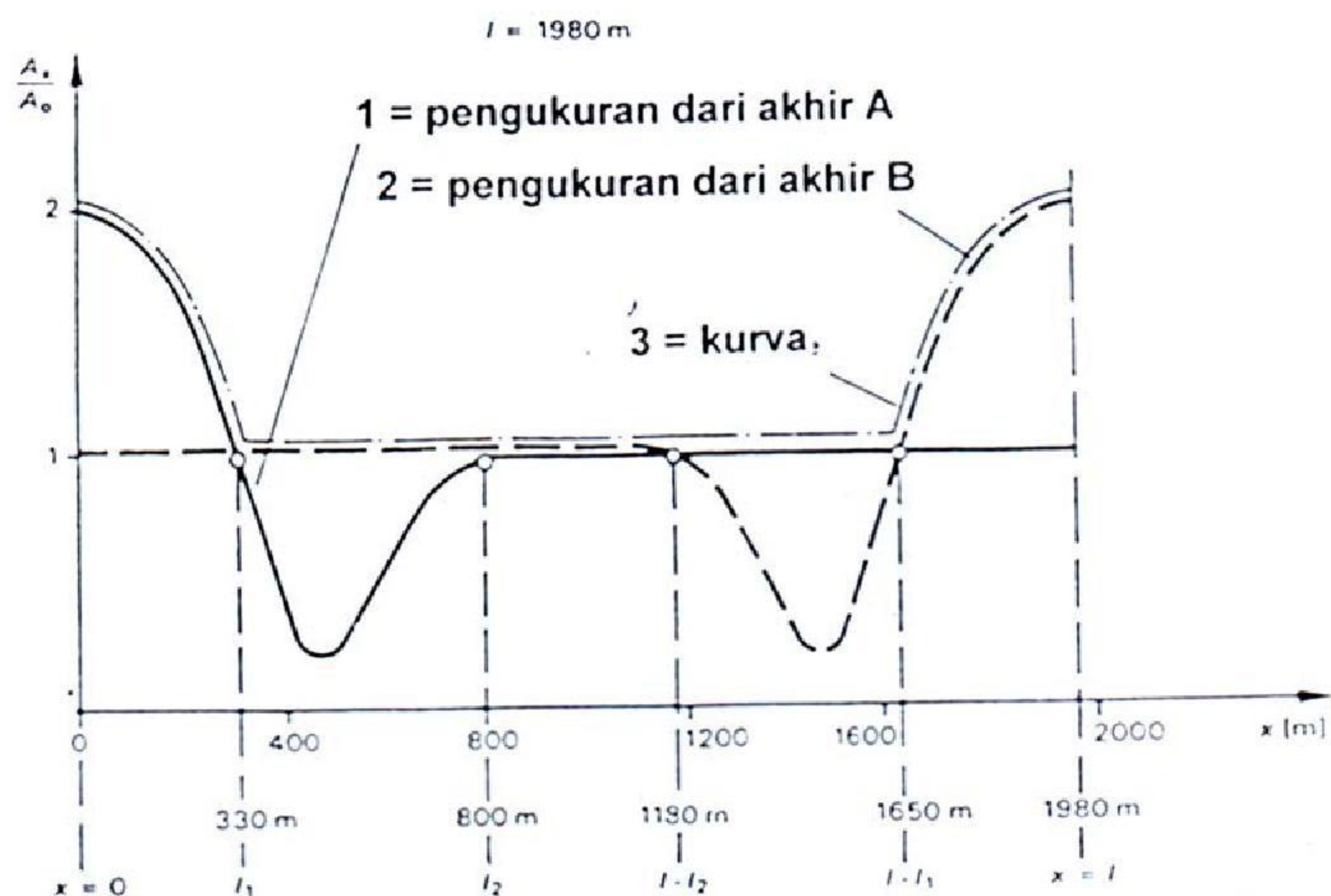
Gambar 15 Error atenuasi maksimum, kedua ujung kabel dihubungkan bersama-sama



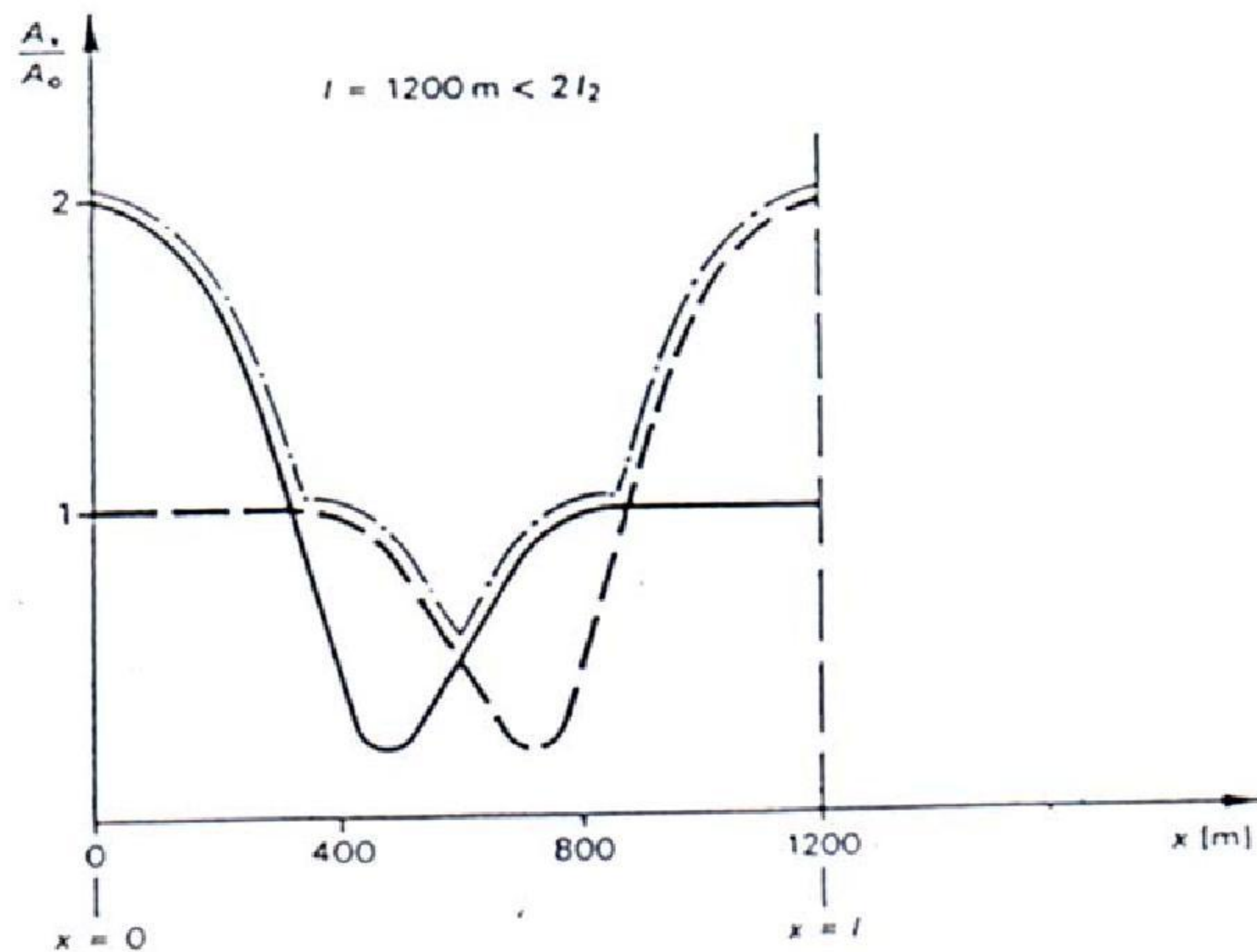
Gambar 16 Error atenuasi maksimum pada tengah-tengah kabel jika pengukuran dilakukan dari kedua ujung



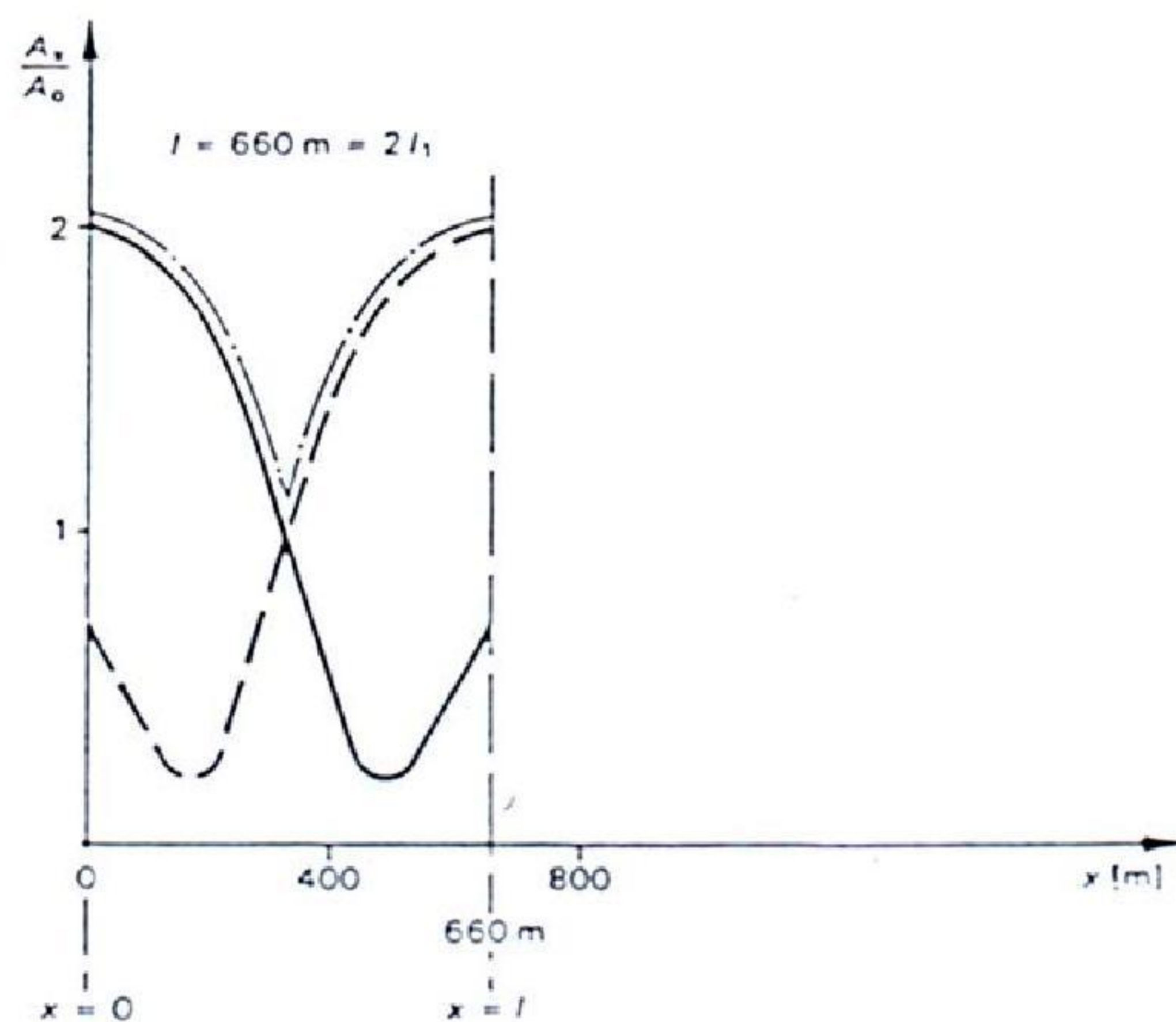
Gambar 17 Diagram pulsa ganda jenis 2. Superposisi negatif antara l_1 dan l_2 (panjang terlarang)



Gambar 18 Pengukuran dari kedua ujung untuk menghindari eror negatif



Gambar 19 Superposisi negatif untuk $2 l_1 < l < l_2$



Gambar 20 Hanya superposisi positif untuk $l < 2 l_1$

Daftar istilah

| | |
|-----------------------------|----------------------------|
| a.b. (arus bolak-balik) | a.c. (alternating current) |
| Alih muatan | Charge transfer |
| Aparat uji | Test apparatus |
| Atenuasi | Attenuation |
| Batas luahan parsial | Partial discharge limit |
| Beban resistif | Resistive load |
| Benda uji | Test object |
| Bentuk gelombang sinusoidal | Sine-wave form |
| Besaran | Magnitude |
| Cacat | Defect |
| Defleksi | Deflection |
| Deran latar belakang | Background noise |
| Deran | Noise |
| Detektor | Detector |
| Dilistriki | To be energized |
| Disetel | To be adjusted |
| Distorsi | Distortion |
| Ekor gelombang | Tail (of wave) |
| Error | Error |
| Faktor koreksi | Correction factor |
| Faktor skala | Scale factor |
| Frekuensi daya | Power frequency |
| Frekuensi terpenggal | Cut-off frequency |
| Frekuensi uji | Test frequency |
| Gambar pulsa ganda | Double pulse plot |
| Gawai penguat | Amplifying device |
| Gawai | Device |
| Gelombang berjalan | Travelling wave |
| Generator pulsa ganda | Double pulse generator |
| Impedans keluaran total | Overall output impedance |
| Impedans masukan | Input impedance |
| Impedans terminal | Terminal impedance |
| Impedans ukur | Measuring impedance |
| Instrumen | Instrument |
| Interferens | Interference |
| Jenis | Type |
| Julat | Range |
| Kabel hubung | Connecting lead |
| Kabel koaksial | Coaxial cable |
| Kabel tenaga terekstrasi | Extruded power cable |
| Kalibrator luahan | Discharge calibrator |
| Kalibrator | Calibrator |
| Kapasitans kalibrasi | Calibrating capacitance |
| Kapasitans | Capacitance |
| Kapasitor kopling | Coupling capacitor |
| Karakteristik | Characteristic |
| Kecepatan rambat | Propagation velocity |
| Kepekaan | Sensitivity |
| Kesalahan | Fault |
| Komponen resistif | Ohmic component |
| Komponen | Component |

| | |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| Kumpulan kapasitans | Lumped capacitance |
| Laju rambat | Propagation rate |
| Lapisan semi konduktor | Semi-conducting layer |
| Lebar pita | Bandwidth |
| Luahan parsial | Partial discharge |
| Luahan | Discharge |
| Menyelaraskan | To match |
| Metode uji | Test method |
| Muatan nyata | Apparent charge |
| Muatan | Charge |
| Muka gelombang | Front (of wave) |
| Nilai efektif | R.m.s |
| Nilai puncak | Peak value |
| Osiloskop | Oscilloscope |
| Panjang kabel | Length; cable length; length of cable |
| Pantulan | Reflection |
| Penguatan penguat | Amplifier gain |
| Penguatan | Gain |
| Pengukuran | Measurement |
| Perlengkapan | Equipment |
| Pita lebar (atau sempit) | Wide (or narrow) band |
| Pulsa awal | Incident pulse |
| Pulsa terpantul | Reflected pulse |
| Rasio | Ratio |
| Respons | Response |
| Rongga kosong | Void |
| Sampel | Sample |
| Sarana | Means |
| Setelan | Setting |
| Sifat | Property |
| Sinyal | Signal |
| Sirkuit jembatan | Bridge circuit |
| Sirkuit uji | Test circuit |
| Sirkuit ukur | Measuring circuit |
| Spasi pulsa | Pulse spacing |
| Superposisi positif (atau negatif) | Positive (or negative) superposition |
| Superposisi | Superposition |
| Suplai daya | Power supply |
| Suplai uji | Test supply |
| Supresor pantulan | Reflection suppressor |
| Supresor | Suppressor |
| Susunan | Arrangement |
| Tayangan | Display |
| Tingkat deran | Noise level |
| Tingkat sinyal deran | Noise signal level |
| Toleransi | Tolerance |
| Uji jenis | Type test |
| Uji rutin | Routine test |
| Ujung kabel | Cable end; end of cable |
| Unit masukan | Input unit |
| Unit penyalaras | Matching unit |
| Waktu daki | Rise time |

Bibliografi

IEC 60885-2 (1987): *Electrical test methods for electric cables, Part 2: Partial discharge tests.*

ICEA Publication T – 24 – 38 (1980) *Guide for partial discharge test procedures.*

VDE 0472 Teil 513/07.82 bzw DIN 57472 Teil 513/07.82 *Prüfung an Kabeln und isolierten Leitungen, Teilentladungen.*

IEC 60270 (1981): *Partial discharge measurements.*

CIGRE Report 21-01, Appendix IV (1968) *Discharge measurements in long lengths of cable: prevention of errors due to superposition of traveling waves.*

Electra (March 1969), *Discharge measurement in long lengths of cable.*

Lukaschewitsch, A., Puff, E., *Messung von Teilentladungen (TE) and langen Kabeln, Energie, Heft 2 (Febr. 1976), S.32-39 .*

Van Hove, C., Lippert, A., Wiznerowicz, F., *Interferenizerscheinungen bei der teilentladungsmessung an langen Kabeln, Electrizitätswirtschaft 73 (1974), S. 776 – 780.*

Borsi, H., *Verfahren zur Messung von Teilentladungen an Hochspannungskabeln unter Berücksichtigung des Einflusses der Kabeldaten, Ankoppelungsvierpole und Meßsysteme, Diss. T.U. Hannover (Juni 1976).*







BADAN STANDARDISASI NASIONAL - BSN
Gedung Manggala Wanabakti Blok IV Lt. 3-4
Jl. Jend. Gatot Subroto, Senayan Jakarta 10270
Telp: 021- 574 7043; Faks: 021- 5747045; e-mail : bsn@bsn.or.id